

METHOD OF MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE, LASER IRRADIATION METHOD, AND LASER IRRADIATION DEVICE

Patent number: JP2004297055
Publication date: 2004-10-21
Inventor: TANAKA KOICHIRO; OISHI HIROMASA; YAMAZAKI SHUNPEI
Applicant: SEMICONDUCTOR ENERGY LAB
Classification:
- International: H01L21/20; H01L21/268; H01L21/336; H01L29/786;
H01L21/02; H01L29/66; (IPC1-7): H01L21/268; H01L21/20;
H01L21/336; H01L29/786
- european:
Application number: JP20040064873 20040308
Priority number(s): JP20040064873 20040308; JP20030061133 20030307

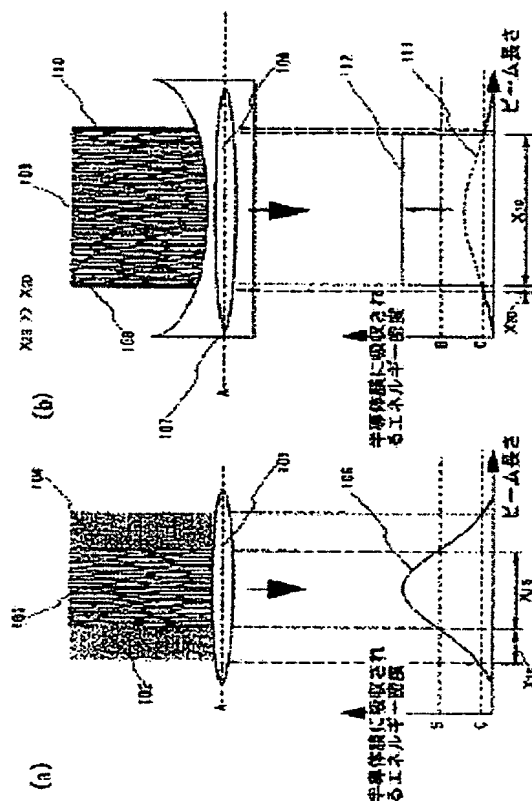
Report a data error here

Abstract of JP2004297055

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve the problem wherein a semiconductor device having high characteristics can be expected when a semiconductor film is subjected to annealing by using a continuous oscillation laser, but when the semiconductor film is scanned with a beam having an elliptical shape in cross section, the area ratio of a region of bad crystallinity to the whole film becomes high and causes a trouble when increasing the integration of the semiconductor device.

SOLUTION: The semiconductor film as an object of irradiation is irradiated with harmonic waves emitted from a continuous oscillation laser and fundamental waves of wavelength 1 [μ m] or so in an auxiliary manner at the same time. A region of the semiconductor film which is less given the energy of the harmonic waves is more given the energy of fundamental waves, and the other region of the semiconductor film which is more given the energy of the harmonic waves is less given the energy of fundamental waves. By this setup, a long crystal grain region can be formed in the semiconductor film restraining a region of bad crystallinity from being formed.

COPYRIGHT: (C)2005,JPO&NCIPI



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-297055

(P2004-297055A)

(43) 公開日 平成16年10月21日(2004.10.21)

(51) Int. Cl.⁷

F I

テーマコード (参考)

H O 1 L 21/268

H O 1 L 21/268

J

5 F 0 5 2

H O 1 L 21/20

H O 1 L 21/20

5 F 1 1 0

H O 1 L 21/336

H O 1 L 29/78

6 2 7 G

H O 1 L 29/786

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2004-64873 (P2004-64873)
 (22) 出願日 平成16年3月8日 (2004.3.8)
 (31) 優先権主張番号 特願2003-61133 (P2003-61133)
 (32) 優先日 平成15年3月7日 (2003.3.7)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000153878
 株式会社半導体エネルギー研究所
 神奈川県厚木市長谷398番地
 (72) 発明者 田中 幸一郎
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 (72) 発明者 大石 洋正
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 (72) 発明者 山崎 舜平
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内

最終頁に続く

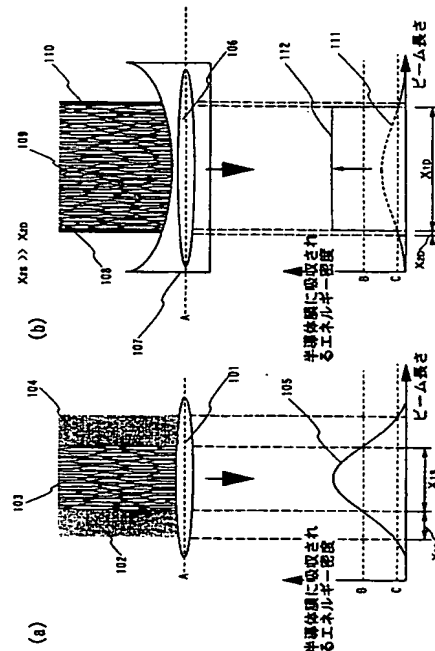
(54) 【発明の名称】 半導体装置の作製方法およびレーザ照射方法、並びにレーザ照射装置。

(57) 【要約】

【課題】連続発振のレーザを半導体膜のアニールに用いると、高特性のデバイスの作製が期待できる一方で、楕円状に形成したビームを半導体膜に走査すると結晶性不良領域が占める割合が大きくなり、半導体素子の高集積化の点で問題がある。本発明は、半導体膜上に形成される結晶性不良領域をできる限り小さくすることを課題とする。

【解決手段】

本発明は、照射面である半導体膜に、連続発振レーザから射出された高調波と同時に波長1 μ m程度の基本波を補助的に照射する。また、高調波のエネルギーが少なく与えられる前記半導体膜の領域には、基本波のエネルギーを多く与え、高調波のエネルギーが多く与えられる前記半導体膜の領域には基本波のエネルギーを少なく与える。これによって、結晶性不良領域の形成を抑制しながら半導体膜に長結晶粒領域を形成することを可能とする。



【選択図】 図1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、

前記非単結晶半導体膜に対して吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上である波長範囲の第 1 のビームと、前記非単結晶半導体膜に対して、吸収係数が $5 \times 10^2 / \text{cm}$ 以下であり、前記非単結晶半導体膜の熔融状態に対して、吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上の波長範囲の第 2 のビームと、

を前記非単結晶半導体膜に重ねて同時に照射する工程と、

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記非単結晶半導体膜を相対的に第 1 方向に移動させる工程と、

を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

10

【請求項 2】

基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、

前記非単結晶半導体膜を熔融させる第 1 のビームと、前記非単結晶半導体膜の熔融状態に対する吸収係数 α と、前記非単結晶半導体膜の固相状態に対する吸収係数 β が、 $\alpha > 10\beta$ を満たす第 2 のビームと、を前記非単結晶半導体膜に重ねて同時に照射する工程と、

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記非単結晶半導体膜を相対的に第 1 方向に移動させる工程と、

を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

20

【請求項 3】

基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、

可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを、前記非単結晶半導体膜を照射面として、前記照射面において長いビームに加工する工程と、

前記照射面において、前記第 1 のビームの照射される領域に、基本波を出力するレーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームのエネルギー分布を均一化して、前記第 1 のビームに重ねて照射する工程と、

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させながら、前記非結晶半導体膜に長結晶粒領域と前記長結晶粒領域の両端にできる結晶性不良領域を形成する工程と、

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 2 方向に移動させる工程を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

30

【請求項 4】

基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、

可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを、前記非単結晶半導体膜を照射面として、前記照射面において長いビームに加工する工程と、

前記照射面に与える前記第 1 のビームのエネルギー密度が高い第 1 の領域には、基本波を出力するレーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームのエネルギー密度を低くし、前記照射面に与える前記第 1 のビームのエネルギー密度が前記第 1 の領域より低い第 2 の領域には、前記第 2 のビームのエネルギー密度を前記第 1 の領域に与えるエネルギー密度より高くして、前記第 2 のビームを前記第 1 のビームに重ねて照射する工程と、

40

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させながら、前記非結晶半導体膜に長結晶粒領域と前記長結晶粒領域の両端にできる結晶不良領域を形成する工程と、

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 2 方向に移動させる工程を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 5】

基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、

可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを、前記非単結晶半導体膜を照射面として、前記照射面において長いビームに加工する工程と、

前記照射面に与える前記第 1 のビームのエネルギー密度が高い第 1 の領域では、基本波を

50

出力するレーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームの幅を細くし、前記照射面に与える前記第 1 のビームのエネルギー密度が前記第 1 の領域より低い第 2 の領域では前記第 2 のビームの幅を前記第 1 の領域に与えたビームの幅より太くして、前記第 2 のビームを前記第 1 のビームに重ねて照射する工程と、

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させながら、前記非結晶半導体膜に長結晶粒領域と前記長結晶粒領域の両端にできる結晶性不良領域を形成する工程と、

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 2 方向に移動させる工程を有することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 6】

10

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項において、前記長結晶粒領域の幅を X_1 、前記第 2 のビームの端部における、結晶性不良領域の幅を X_2 とすると、

$$X_2 / (2X_2 + X_1) < 0.1$$

を満たすことを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項において、前記レーザ発振器 1 または前記レーザ発振器 2 は、連続発振の気体レーザ、固体レーザまたは金属レーザであることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項において、前記レーザ発振器 1 または前記レーザ発振器 2 は、Arレーザ、Krレーザ、CO₂レーザ、YAGレーザ、YVO₄レーザ、YLFレーザ、Y₂O₃レーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライドレーザ、Ti:サファイヤレーザ、ヘリウムカドミウムレーザ、銅蒸気レーザまたは金蒸気レーザであることを特徴とする半導体装置の作製方法。

20

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか一項において、前記第 1 方向と前記第 2 方向は互いに直交することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のいずれか一項において、前記照射面は前記第 1 のビームに対して透光性を有する厚さ d の基板に成膜された膜であり、前記長いビームの長径または短径の長さを W とすると、前記第 1 のビームの前記照射面に対する入射角度 ϕ は、

30

$$\phi \geq \arctan(W/2d)$$

を満たすことを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 11】

可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 と、

前記レーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを照射面において長いビームに加工する手段と、

基本波を出力するレーザ発振器 2 と、

前記長いビームが照射される領域において、前記レーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームのエネルギー分布を均一化して照射する手段と、

40

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させる手段と、

前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 2 方向に移動させる手段と、

を有することを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 12】

可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 と、

前記レーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを照射面において長いビームに加工する手段と、

基本波を出力するレーザ発振器 2 と、

50

前記長いビームが照射される領域において、前記レーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームを重ねて照射する手段と、
前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させる手段と、
前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 2 方向に移動させる手段とを有し、
前記第 2 のビームのエネルギー密度は、前記長いビームの両端において高く、中央において低いことを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 13】

可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 と、
前記レーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを照射面において長いビームに加工する手段と、
基本波を出力するレーザ発振器 2 と、
前記長いビームが照射される領域において、前記レーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームを重ねて照射する手段と、
前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させる手段と、
前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 2 方向に移動させる手段とを有し、
前記第 2 のビームの幅は、前記長いビームの両端において太く、中央において細いことを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 14】

請求項 11 乃至 13 のいずれか一項において、前記レーザ発振器 1 または前記レーザ発振器 2 は、連続発振の気体レーザ、固体レーザまたは金属レーザであることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 15】

請求項 11 乃至 13 のいずれか一項において、前記レーザ発振器 1 または前記レーザ発振器 2 は、Arレーザ、Krレーザ、CO₂レーザ、YAGレーザ、YVO₄レーザ、YLFレーザ、YalO₃レーザ、Y₂O₃レーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライドレーザ、Ti:サファイヤレーザ、ヘリウムカドミウムレーザ、銅蒸気レーザまたは金蒸気レーザであることを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 16】

請求項 11 乃至 15 のいずれか一項において、前記第 1 方向と前記第 2 方向は互いに直交することを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 17】

請求項 11 乃至 16 のいずれか一項において、前記照射面は前記第 1 のビームに対して透光性を有する厚さ d の基板に成膜された膜であり、前記長いビームの長径または短径の長さを W とすると、前記第 1 のビームの前記照射面に対する入射角度 ϕ は、
$$\phi \geq \arctan (W/2d)$$

を満たすことを特徴とするレーザ照射装置。

【請求項 18】

可視光線以下の波長である第 1 のビームを照射面において長いビームに加工し、前記長いビームを重ねて、基本波である第 2 のビームを前記照射面においてエネルギー分布を均一化して照射しながら前記長いビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させることを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項 19】

可視光線以下の波長である第 1 のビームを照射面において長いビームに加工し、前記長いビームを重ねて、基本波である第 2 のビームを前記照射面において照射しながら前記長いビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させ、前記照射面に与える前記第 1 のビームのエネルギー密度が高い第 1 の領域には、第 2 のビームのエネルギー密度を低く

10

20

30

40

50

して与え、前記照射面に与える前記第1のビームのエネルギー密度が前記第1の領域より低い第2の領域には、前記第2のビームのエネルギー密度を前記第1の領域に与えるエネルギー密度より高くして与えることを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項20】

可視光線以下の波長である第1のビームを照射面において長いビームに加工し、前記長いビームに重ねて、基本波である第2のビームを前記照射面において照射しながら、前記長いビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させ、前記照射面に与える前記第1のビームのエネルギー密度が高い第1の領域では、第2のビームの幅を細くし、前記照射面に与える前記第1のビームのエネルギー密度が低い第2の領域では、第2のビームの幅を前記第1の領域に与えるビームより太くすることを特徴とするレーザ照射方法。

10

【請求項21】

照射面に対して吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上である波長範囲の第1のビームと、前記照射面に対して、吸収係数が $5 \times 10^2 / \text{cm}$ 以下であり、前記照射面の熔融状態に対して、吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上の波長範囲の第2のビームと、を前記照射面に重ねて同時に照射し、

前記第1のビームと前記第2のビームとに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させることを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項22】

照射面を熔融させる第1のビームと、前記照射面の熔融状態に対する吸収係数 α と、前記照射面の固相状態に対する吸収係数 β が、 $\alpha > 10\beta$ を満たす第2のビームと、を前記照射面に重ねて同時に照射し、前記第1のビームと前記第2のビームとに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させることを特徴とするレーザ照射方法。

20

【請求項23】

請求項18乃至22のいずれか一項において、前記第1のビームまたは前記第2のビームは、連続発振の気体レーザ、固体レーザまたは金属レーザから射出されることを特徴とするレーザ照射方法。

【請求項24】

請求項18乃至22のいずれか一項において、前記第1のビームまたは前記第2のビームは、Arレーザ、Krレーザ、CO₂レーザ、YAGレーザ、YVO₄レーザ、YLFレーザ、Yb:Y₂O₃レーザ、Y₂O₃レーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライドレーザ、Ti:サファイヤレーザ、ヘリウムカドミウムレーザ、銅蒸気レーザまたは金蒸気レーザから射出されることを特徴とするレーザ照射方法。

30

【請求項25】

請求項18乃至24のいずれか一項において、前記照射面は前記第1のビームに対して透光性を有する厚さ d の基板に成膜された膜であり、前記長いビームの長径または短径の長さを W とすると、前記第1のビームの前記照射面に対する入射角度 ϕ は、

$$\phi \geq \arctan(W/2d)$$

を満たすことを特徴とするレーザ照射方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明はレーザ光の照射方法およびそれを行うためのレーザ照射装置（レーザと該レーザから出力されるレーザ光を被照射体まで導くための光学系を含む装置）に関する。また、前記レーザ処理の工程を含んで作製された半導体装置の作製方法に関する。なお、ここでいう半導体装置とは、半導体特性を利用することで機能しうる装置全般を指し、液晶表示装置や発光装置等の電気光学装置及び該電気光学装置を部品として含む電子装置も含まれるものとする。

【背景技術】

【0002】

50

近年、基板上に薄膜トランジスタ（以下、TFTと記す）を製造する技術が大幅に進歩し、アクティブマトリクス型の表示装置への応用開発が進められている。特に、多結晶半導体膜を用いたTFTは、従来の非晶質半導体膜を用いたTFTよりも電界効果移動度（モビリティともいう）が高いので、高速動作が可能である。そのため、従来基板の外に設けられた駆動回路で行っていた画素の制御を、画素と同一の基板上に形成した駆動回路で行うことが試みられている。

【0003】

ところで半導体装置に用いる基板は、コストの面から単結晶シリコン基板よりも、ガラス基板が有望視されている。ガラス基板は耐熱性に劣り、熱変形しやすいため、ガラス基板上にポリシリコンTFTを形成する場合には、ガラス基板の熱変形を避けるために、半導体膜の結晶化にレーザアニールが用いられる。

10

【0004】

レーザアニールの特徴は、輻射加熱或いは伝導加熱を利用するアニール法と比較して処理時間を大幅に短縮できることや、半導体基板又は半導体膜を選択的、局所的に加熱して、基板に殆ど熱的損傷を与えないことなどが挙げられている。

【0005】

なお、ここでいうレーザアニール法とは、半導体基板又は半導体膜に形成された損傷層やアモルファス層を再結晶化する技術や、基板上に形成された非晶質半導体膜を結晶化させる技術を指している。また、半導体基板又は半導体膜の平坦化や表面改質に適用される技術も含んでいる。

20

【0006】

レーザアニールに用いられるレーザはその発振方法により、パルス発振と連続発振の2種類に大別される。近年では、半導体膜の結晶化においてパルス発振のレーザよりも連続発振のレーザを用いるほうが、半導体膜内に形成される結晶の粒径が大きくなることが見出されている。半導体膜内の結晶粒径が大きくなると、該半導体膜を用いて形成されるTFTチャネル領域に入る粒界の数が減るので移動度が高くなり、より高性能のデバイスの開発に利用できる。そのため、連続発振のレーザはにわかに脚光を浴び始めている。

【0007】

また、連続発振のレーザによる半導体または半導体膜のレーザアニール工程においては、生産性を上げるためにレーザ発振器から射出されたレーザビームを照射面上において長い楕円状に加工し、楕円状のレーザビーム（以下楕円ビームと称する。）を半導体膜に照射する方法がよく用いられる。加工後のレーザビームの形状が楕円状になるのは、元のレーザビームの形状が円形もしくはそれに近い形状であるからである（例えば、特許文献1参照）。

30

【0008】

【特許文献1】特開2003-045820号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

連続発振のレーザを半導体膜のアニールに用いる場合、極めて高特性のデバイスの作製が期待できる一方で、半導体膜に十分に吸収される波長域のレーザで形成できるビームスポットのサイズは極めて小さい。例えばYAGレーザを使用する場合、高調波に変換しなければならないため最大出力が10W程度のレーザしか適用できず、照射面でのビームスポットのサイズは最大でも500 μ m \times 20 μ m程度である。従って、このようなサイズのビームスポットを照射面上で、前後左右に動かすことで前記照射面上の必要な部分に対しレーザアニールを行うことになる。

40

【0010】

ここで、図1(a)に楕円状のビームスポット101の半導体膜における照射跡を示す。また、ビームスポット101の断面Aにおけるエネルギー密度分布を105に示す。ビームスポット中央付近の領域103は、長結晶粒領域を形成するための閾値であるエネルギー

50

一密度 B より大きいエネルギー密度を有する。しかし、ビームスポットの端部の領域 102 及び 104 は、ビームスポット中央付近の領域 103 と比較するとエネルギー密度が小さい。このため、半導体膜における前記ビームスポットの照射跡には大きく分類して、2 つの結晶状態が形成される。ビームスポットの端部の領域 102 及び 104 には、パルス発振のエキシマレーザでレーザ結晶化を行った場合に形成される結晶に似た状態の結晶粒が形成され、ビームスポット中央付近の領域 103 には、結晶粒径が前記パルスレーザで結晶化した場合と比較して非常に大きい結晶状態（以下この状態を、長結晶粒と呼ぶ）が形成される。

【0011】

より具体的には、ビームスポット中央付近の領域 103 に形成される長結晶粒は、短辺が数 μm 、長辺が数十～数百 μm のレーザの走査方向に長い結晶粒であり、この領域 103 の中には、この長結晶粒が無数に敷き詰められた状態で形成される。それに対し、ビームスポット端部の領域 102 及び 104 に形成される結晶は、長辺が数 μm 以下の結晶粒や直径 1 μm 程度の結晶粒であり、長結晶粒に比べ非常に小さな結晶粒である。ビームスポット端部の領域 102 及び 104 は、そのような小さな結晶粒の集合体として形成される。ビームスポット端部の領域 102 及び 104 に形成された小さな結晶粒は、パルス発振のエキシマレーザでレーザ結晶化を行った場合に形成される結晶に似た状態の結晶粒と言える。以下、パルス発振のエキシマレーザでレーザ結晶化を行った場合に形成される、結晶に似た状態の結晶粒が形成される領域を結晶性不良領域と呼ぶ。

【0012】

半導体膜内の結晶粒径が大きくなると、該半導体膜を用いて形成される T F T のチャネル領域における粒界の数が減るので移動度が高くなる。また、結晶性不良領域に形成される T F T の移動度は、長結晶粒領域に形成される T F T の移動度よりも大きく劣る。つまり、長結晶粒領域に形成される T F T と、結晶性不良領域に形成される T F T の電気特性には大きな差異が生じるため、たとえば、C P U などの高特性が要求される半導体装置を作製する場合、結晶性不良領域には、半導体素子を形成することができない。

【0013】

エネルギー密度分布がガウシアン形状の楕円ビームを半導体膜に照射した場合、照射跡の中で結晶性不良領域が占める割合は通常 2 割程度である。従って T F T を配置できない領域も 2 割程度存在するため、半導体素子の高集積化の点で問題がある。本発明は、半導体膜上に形成される結晶性不良領域をできる限り小さくすることを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明は、照射面である半導体膜に、連続発振レーザから射出された高調波と同時に波長 1 μm 程度の基本波を補助的に照射する。また、照射面に与える高調波のエネルギー密度が高い第 1 の領域には、基本波のエネルギー密度を低くして、高調波のエネルギー密度が第 1 の領域より低い第 2 の領域には基本波のエネルギー密度を第 1 の領域に与えた基本波のエネルギー密度より高くして与える。本発明は、上記の方法によって結晶性不良領域の形成を防止しながら、半導体膜上に長結晶粒領域を形成することを可能としたレーザ照射方法および照射装置、並びに半導体装置の作製方法を提供する。

【0015】

図 1 (b) は本発明の要旨を説明する図面である。半導体膜に楕円状のビームスポット 106 を照射する。ビームスポット 106 の波長域は半導体膜によく吸収される領域にあり、断面 A におけるビームスポット 106 のエネルギー密度分布は 111 で示される。図中で、エネルギー密度 B は長結晶粒領域形成の閾値、エネルギー密度 C は半導体膜の熔融の閾値を表す。

【0016】

本発明は基本波によるビームスポット 107 をビームスポット 106 に重ね合わせて補助的に照射する。波長が 1 μm 程度の基本波は通常の半導体膜には吸収されないが、高調波により熔融した半導体膜にはよく吸収される。そのため、ビームスポット 106 が照射さ

10

20

30

40

50

れた領域であって、かつエネルギー密度が半導体膜の熔融の閾値Cを超える領域だけが基本波を吸収する。すなわち、半導体膜に吸収されるエネルギー分布を図1(b)の実線で示したように不連続とすることができる。よって、結晶性不良領域のできるエネルギー(図1(b)中の閾値B、C間のエネルギー)を全く半導体膜に与えず、長結晶粒領域のできるエネルギーのみを半導体膜に与えることも可能となる。ビームスポット106および107を照射した時に半導体膜が吸収するエネルギー密度分布は実線112で示される。なお、基本波の吸収係数は $5 \times 10^2 / \text{cm}$ 以下であるが、通常の半導体膜にエネルギーを与え処理を行うためには $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上の吸収係数が必要である。したがって、半導体膜が熔融することによって基本波の吸収係数が少なくとも10倍以上変化すれば、本発明を適用した工程において、本発明が期待する効果が得られる。

10

【0017】

ビームスポット106および107により形成された半導体膜の照射跡には大きく分類して、2つの結晶状態が形成される。領域108及び110は、結晶性不良領域であり、領域109は長結晶粒領域である。領域108と109の幅はそれぞれ X_{2D} 、 X_{1D} で表される。図1(b)に示した照射跡は、図1(a)に示した、楕円状のビームスポットのみを照射して出来た照射跡よりも、結晶性不良領域の割合が非常に小さく、長結晶粒領域の割合が大きい。図1(a)の照射跡において、領域102および103はそれぞれ結晶性不良領域、長結晶粒領域である。領域102と103の幅はそれぞれ X_{2S} 、 X_{1S} で表され、 $X_{2S} \gg X_{2D}$ 、 $X_{1D} > X_{1S}$ の関係がある。また、図1(b)においては、高調波のビームスポットの長手方向の両端において幅が広く、中央において幅の狭い形状の基本波を高調波と重ねて照射させながらビームを走査させる。基本波のビームスポット107は、走査方向のビーム幅が、中央部に比べて両端が広いものを用いる。ビームスポット107を半導体膜上に走査させると、高調波のビーム中央部よりもビーム端が照射される領域に、長い時間にわたり基本波による照射エネルギーを与え続けることができる。これにより長粒径領域の幅方向において半導体膜に与えられるレーザーのエネルギー分布を一様とすることが可能となる。これは半導体膜の電気特性を一様にする効果がある。ビームスポット107の整形は半導体膜上方に配置した金属膜などの遮光膜で行う。なお、遮光膜と半導体膜表面との距離は、回折光による影響を防ぐためできる限り小さくするのが望ましい。また、基本波のビームスポットの整形は上記以外の方法で行っても良い。回折光学素子などを用い半導体膜上で所望のビームスポットを照射させる構成としてもよい。

20

30

【0018】

以上のように、本発明では高調波のエネルギーが比較的少なく照射される領域に、基本波のエネルギーが比較的多く照射されるように、基本波のビームスポット形状あるいはエネルギー分布を整形して半導体膜上に走査させる。上記の方法によって、結晶性不良領域の形成を抑制しながら、半導体膜に電気特性のより一様な長結晶粒領域を形成することが可能となる。なお、本発明では半導体膜の照射に用いるビームスポット形状は図1(b)の構成に限定されない。基本波のレーザーから射出されるビームを加工し、図2(a)、(b)、(c)のような形状のビームスポットを用いてもよい。また、高調波のビームを複数用い、それらをつなげて長いビームを作り、基本波のビームスポットを重ね合わせても良い。あるいは基本波の方を複数用いてもよいし、高調波、基本波共に複数用いても構わない。また、基本波のビームスポットのエネルギー密度を図3(a)、(b)のような形状に加工し、高調波のエネルギーが比較的少なく照射される領域に基本波のエネルギーが比較的多く照射されるようにしてもよい。あるいは、図3(c)のように基本波を均一なエネルギー密度の分布を持つビームスポットに整形しても、本発明が特徴とする効果が得られる。

40

【0019】

本明細書で開示する半導体装置の作製方法に関する発明の構成の一つは、

基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、

前記非単結晶半導体膜に対して吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上である波長範囲の第1のビームと、前記非単結晶半導体膜に対して、吸収係数が $5 \times 10^2 / \text{cm}$ 以下であり、前記非

50

単結晶半導体膜の熔融状態に対して、吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上の波長範囲の第2のビームと、
を前記照射面に重ねて同時に照射する工程と、
前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させる工程と、
を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0020】

本明細書で開示する半導体装置の作製方法に関する発明の他の構成は、
基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
前記非単結晶半導体膜を熔融させる第1のビームと、前記非単結晶半導体膜の熔融状態に対する吸収係数 α と、前記非単結晶半導体膜の固相状態に対する吸収係数 β が、 $\alpha > 10\beta$ を満たす第2のビームと、を前記非単結晶半導体膜に重ねて同時に照射する工程と、
前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記非単結晶半導体膜を相対的に第1方向に移動させる工程と、
を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0021】

本明細書で開示する半導体装置の作製方法に関する発明の他の構成は、
基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器1から射出される第1のビームを、前記非単結晶半導体膜を照射面として、前記照射面において長いビームに加工する工程と、
前記照射面において、前記第1のビームの照射される領域に、基本波を出力するレーザ発振器2から射出される第2のビームのエネルギー分布を均一化して、前記第1のビームに重ねて照射する工程と、
前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させながら、前記非結晶半導体膜に長結晶粒領域と前記長結晶粒領域の両端にできる結晶性不良領域を形成する工程と、
前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第2方向に移動させる工程を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0022】

本明細書で開示する半導体装置の作製方法に関する発明の他の構成は、
基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器1から射出される第1のビームを、非単結晶半導体膜を照射面として、照射面において長いビームに加工する工程と、
照射面に与える第1のビームのエネルギー密度が高い第1の領域には、基本波を出力するレーザ発振器2から射出される第2のビームのエネルギー密度を低くし、第1のビームのエネルギー密度が第1の領域より低い第2の領域には、第2のビームのエネルギー密度を第1の領域に与えるエネルギー密度より高くして、第2のビームを第1のビームに重ねて照射する工程と、
第1のビーム及び第2のビームに対して照射面を相対的に第1方向に移動させながら、非結晶半導体膜に長結晶粒領域と長結晶粒領域の両端にできる結晶性不良領域を形成する工程と、
第1のビーム及び第2のビームに対して照射面を相対的に第2方向に移動させる工程を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0023】

本明細書で開示する半導体装置の作製方法に関する発明の他の構成は、
基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器1から射出される第1のビームを、前記非単結晶半導体膜を照射面として、前記照射面において長いビームに加工する工程と、
照射面に与える第1のビームのエネルギー密度が高い第1の領域では、基本波を出力するレーザ発振器2から射出される第2のビームの幅を細くし、第1のビームのエネルギー密

度が第1の領域より低い第2の領域では第2のビームの幅を第1の領域に照射するビームの幅より太くして、第2のビームを第1のビームに重ねて照射する工程と、
第1のビーム及び第2のビームに対して照射面を相対的に第1方向に移動させながら、非結晶半導体膜に長結晶粒領域と長結晶粒領域の両端にできる結晶に似た状態の結晶粒が形成される領域を形成する工程と、
第1のビーム及び第2のビームに対して照射面を相対的に第2方向に移動させる工程を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0024】

上記発明の構成において、前記長結晶粒の結晶粒領域の幅を X_1 、前記結晶性不良領域の幅を X_2 とすると、

$$X_2 / (2X_2 + X_1) < 0.1$$

を満たすことを特徴としている。なお、結晶性不良領域において、結晶粒の大きさは通常直径 $1\mu\text{m}$ 以下である。

10

【0025】

また、上記発明の構成において、前記第1のビームまたは前記第2のビームは、連続発振の気体レーザー、固体レーザーまたは金属レーザーから射出されたものであることを特徴としている。前記気体レーザーとして、Arレーザー、Krレーザー、CO₂レーザー等があり、前記固体レーザーとして、YAGレーザー、YVO₄レーザー、YLFレーザー、YAlO₃レーザー、Y₂O₃レーザー、ルビーレーザー、アレキサンドライドレーザー、Ti:サファイヤレーザー等があり、前記金属レーザーとしてはヘリウムカドミウムレーザー、銅蒸気レーザー、金蒸気レーザーが

20

【0026】

また、上記発明の構成において、前記第1のビームは非線形光学素子により高調波に変換されていることを特徴とする。前記非線形光学素子に使われる結晶は、例えばLBOやBBOやKDP、KTPやKB5、CLBOと呼ばれるものを使うと変換効率の点で優れている。これらの非線形光学素子をレーザーの共振器の中に入れることで、変換効率を大幅に上げることができる。

【0027】

また、上記発明の構成において、前記レーザービームはTEM₀₀（ジングル横モード）で発振されると、得られる長いビームのエネルギー均一性を上げることができるので好ましい

30

【0028】

レーザービームに対して透光性を持つ基板上に成膜された半導体膜をアニールする場合、均一なレーザービームの照射を実現するためには、照射面に垂直な平面であって、かつビームの形状を長方形と見立てたときの短辺を含む面または長辺を含む面のいずれか一方を入射面と定義すると、前記レーザー光の入射角度 ϕ は、入射面に含まれる前記短辺または前記長辺の長さが W 、前記照射面に設置され、かつ、前記レーザー光に対して透光性を有する基板の厚さが d であるとき、 $\phi \geq \arctan(W/2d)$ を満たすのが望ましい。複数のレーザービームを使用する場合、この議論は個々のレーザービームについて成り立つ必要がある。なお、レーザービームの軌跡が、前記入射面上にないときは、該軌跡を該入射面に射影したものの入射角度を ϕ とする。この入射角度 ϕ でレーザービームが入射されれば、基板の表面での反射光と、前記基板の裏面からの反射光とが干渉せず、一様なレーザービームの照射を行うことができる。以上の議論は、基板の屈折率を1として考えた。実際は、基板の屈折率が1.5前後のものが多く、この数値を考慮に入れると上記議論で算出した角度よりも大きな計算値が得られる。しかしながら、ビームスポットの長手方向の両端のエネルギーは減衰があるため、この部分での干渉の影響は少なく、上記の算出値で十分に干渉減衰の効果が得られる。

40

【0029】

また、前記基板として、ガラス基板、石英基板やシリコン基板、プラスチック基板、金属基板、ステンレス基板、可撓性基板などを用いることができる。上記の ϕ に対する不等式

50

は、基板がレーザビームに対して透光性のあるもの以外には適用されない。なぜならば、この場合、基板の厚さ d が全く意味のない数値となるからである。

【0030】

また、本明細書で開示するレーザ照射装置に関する発明の構成の一つは、可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 と、前記レーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを照射面において長いビームに加工する手段と、基本波を出力するレーザ発振器 2 と、前記長いビームが照射される領域において、前記レーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームのエネルギー分布を均一化して照射する手段と、前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させる手段と、前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 2 方向に移動させる手段と、を有するレーザ照射装置であることを特徴としている。 10

【0031】

本明細書で開示するレーザ照射装置に関する発明の他の構成は、可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 と、レーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを照射面において長いビームに加工する手段と、基本波を出力するレーザ発振器 2 と、長いビームが照射される領域において、長いビームの端部ではレーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームのエネルギー密度が高くなるようにし、長いビームの中央付近では第 2 のビームのエネルギー密度が低くなるようにして、第 2 のビームを長いビームに重ねて照射する手段と、前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させる手段と、前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 2 方向に移動させる手段と、を有するレーザ照射装置であることを特徴としている。 20

【0032】

本明細書で開示するレーザ照射装置に関する発明の他の構成は、可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 と、前記レーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを照射面において長いビームに加工する手段と、基本波を出力するレーザ発振器 2 と、前記長いビームが照射される領域において、前記レーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームの幅を前記長いビームの両端において太く、中央において細くして前記長いビームに重ねて照射する手段と、前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 1 方向に移動させる手段と、前記第 1 のビーム及び前記第 2 のビームに対して前記照射面を相対的に第 2 方向に移動させる手段と、を有するレーザ照射装置であることを特徴としている。 30

【0033】

上記発明の構成において、前記第 1 方向と前記第 2 方向は互いに直交することを特徴とする。

【0034】

上記発明の構成において、前記レーザ発振器 1 及び前記レーザ発振器 2 は、連続発振の気体レーザ、固体レーザまたは金属レーザであることを特徴としている。前記気体レーザとして、Ar レーザ、Kr レーザ、CO₂ レーザ等があり、前記固体レーザとして、YAG レーザ、YVO₄ レーザ、YLF レーザ、YAlO₃ レーザ、Y₂O₃ レーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライドレーザ、Ti : サファイヤレーザ等があり、前記金属レーザとしてはヘリウムカドミウムレーザ、銅蒸気レーザ、金蒸気レーザが挙げられる。 40

【0035】

また、上記発明の構成において、前記第 1 のビームは非線形光学素子により高調波に変換されていることを特徴とする。前記非線形光学素子に使われる結晶は、例えば LBO や BBO や KDP、KTP や KB5、CLBO と呼ばれるものを使うと変換効率の点で優れている。これらの非線形光学素子をレーザの共振器の中に入れることで、変換効率を大幅に上げることができる。

【0036】

また、上記発明の構成において、前記第 1 のビームは TEM₀₀ で発振されると、得られる長いビームのエネルギー均一性を上げることができるので好ましい。 50

【0037】

レーザビームに対して透光性を持つ基板上に成膜された半導体膜をアニールする場合、均一なレーザビームの照射を実現するためには、照射面に垂直な平面であって、かつビームの形状を長方形と見立てたときの短辺を含む面または長辺を含む面のいずれか一方を入射面と定義すると、前記レーザ光の入射角度 ϕ は、入射面に含まれる前記短辺または前記長辺の長さが W 、前記照射面に設置され、かつ、前記レーザ光に対して透光性を有する基板の厚さが d であるとき、 $\phi \geq \arctan(W/2d)$ を満たすのが望ましい。複数のレーザビームを使用する場合、この議論は個々のレーザビームについて成り立つ必要がある。なお、レーザビームの軌跡が、前記入射面上にないときは、該軌跡を該入射面に射影したものの入射角度を ϕ とする。この入射角度 ϕ でレーザビームが入射されれば、基板の表面での反射光と、前記基板の裏面からの反射光とが干渉せず、一様なレーザビームの照射を行うことができる。以上の議論は、基板の屈折率を1として考えた。実際は、基板の屈折率が1.5前後のものが多く、この数値を考慮に入れると上記議論で算出した角度よりも大きな計算値が得られる。しかしながら、ビームスポットの長手方向の両端のエネルギーは減衰があるため、この部分での干渉の影響は少なく、上記の算出値で十分に干渉減衰の効果が得られる。

【0038】

また、前記基板として、ガラス基板、石英基板やシリコン基板、プラスチック基板、金属基板、ステンレス基板、可撓性基板などを用いることができる。前記ガラス基板として、バリウムホウケイ酸ガラス、またはアルミノホウケイ酸ガラスなどのガラスからなる基板が挙げられる。また、可撓性基板とは、PET、PEP、PEN、アクリルなどからなるフィルム状の基板のことであり、可撓性基板を用いて半導体装置を作製すれば、軽量化が見込まれる。可撓性基板の表面、または表面および裏面にアルミ膜(AlON、AlN、AlOなど)、炭素膜(DLC(ダイヤモンドライクカーボン)など)、SiNなどのバリア層を単層または多層にして形成すれば、耐久性などが向上するので望ましい。上記の ϕ に対する不等式は、基板がレーザビームに対して透光性のあるもの以外には適用されない。なぜならば、この場合、基板の厚さ d が全く意味のない数値となるからである。

【0039】

また、本明細書で開示するレーザ照射方法に関する発明の構成の一つは、可視光線以下の波長である第1のビームを照射面において長いビームに加工し、前記長いビームに重ねて、基本波である第2のビームを前記照射面においてエネルギー分布を均一化して照射しながら前記長いビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させることを特徴とするレーザ照射方法である。

【0040】

本明細書で開示するレーザ照射方法に関する発明の他の構成は、可視光線以下の波長である第1のビームを照射面において長いビームに加工し、前記長いビームに重ねて、基本波である第2のビームを前記照射面において照射しながら前記長いビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させ、前記照射面に与える前記第1のビームのエネルギー密度が高い第1の領域には、第2のビームの与えるエネルギーを低くし、前記第1のビームの与えるエネルギーが第1の領域より低い第2の領域には、第2のビームの与えるエネルギー密度を第1の領域に与えるエネルギー密度より高くすることを特徴とするレーザ照射方法である。

【0041】

本明細書で開示するレーザ照射方法に関する発明の他の構成は、可視光線以下の波長である第1のビームを照射面において長いビームに加工し、前記長いビームに重ねて、基本波である第2のビームを前記照射面において照射しながら前記長いビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させ、前記照射面に与える前記第1のビームのエネルギー密度が高い第1の領域では第2のビームの幅を細くし、前記第1のビームの与えるエネルギー密度が第1の領域より低い第2の領域では、第2のビームの幅を第1の領域に照射するビームの幅より太くすることを特徴とするレーザ照射方法である。

【0042】

本明細書で開示するレーザ照射方法に関する発明の他の構成は、照射面に対して吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上である波長範囲の第1のビームと、前記照射面に対して、吸収係数が $5 \times 10^2 / \text{cm}$ 以下であり、前記照射面の熔融状態に対して、吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上の波長範囲の第2のビームと、を前記照射面に重ねて同時に照射し、前記第1のビームと前記第2のビームとに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させることを特徴とするレーザ照射方法である。

【0043】

本明細書で開示するレーザ照射方法に関する発明の他の構成は、照射面を熔融させる第1のビームと、前記照射面の熔融状態に対する吸収係数 α と、前記照射面の固相状態に対する吸収係数 β が、 $\alpha > 10\beta$ を満たす第2のビームと、を前記照射面に重ねて同時に照射し、

10

前記第1のビームと前記第2のビームとに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させることを特徴とするレーザ照射方法である。

【0044】

上記発明の構成において、前記第1のビームまたは前記第2のビームは、連続発振の気体レーザ、固体レーザまたは金属レーザから射出されたものであることを特徴としている。前記気体レーザとして、Arレーザ、Krレーザ、CO₂レーザ等があり、前記固体レーザとして、YAGレーザ、YVO₄レーザ、YLFレーザ、YAlO₃レーザ、Y₂O₃レーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライドレーザ、Ti：サファイヤレーザ等があり、前記金属レーザとしてはヘリウムカドミウムレーザ、銅蒸気レーザ、金蒸気レーザが挙げられる。

20

【0045】

また、上記発明の構成において、前記第1のビームは非線形光学素子により高調波に変換されていることを特徴とする。前記非線形光学素子に使われる結晶は、例えばLBOやBBOやKDP、KTPやKB5、CLBOと呼ばれるものを使うと変換効率の点で優れている。これらの非線形光学素子をレーザの共振器の中に入れることで、変換効率を大幅に上げることができる。

【0046】

また、上記発明の構成において、前記レーザビームはTEM₀₀で発振されると、得られる長いビームのエネルギー均一性を上げることができるので好ましい。

30

【0047】

レーザビームに対して透光性を持つ基板上に成膜された半導体膜をアニールする場合、均一なレーザビームの照射を実現するためには、照射面に垂直な平面であって、かつビームの形状を長方形と見立てたときの短辺を含む面または長辺を含む面のいずれか一方を入射面と定義すると、前記レーザ光の入射角度 ϕ は、入射面に含まれる前記短辺または前記長辺の長さが W 、前記照射面に設置され、かつ、前記レーザ光に対して透光性を有する基板の厚さが d であるとき、 $\phi \geq \arctan(W/2d)$ を満たすのが望ましい。複数のレーザビームを使用する場合、この議論は個々のレーザビームについて成り立つ必要がある。なお、レーザビームの軌跡が、前記入射面上にないときは、該軌跡を該入射面に射影したものの入射角度を ϕ とする。この入射角度 ϕ でレーザビームが入射されれば、基板の表面での反射光と、前記基板の裏面からの反射光とが干渉せず、一様なレーザビームの照射を行うことができる。以上の議論は、基板の屈折率を1として考えた。実際は、基板の屈折率が1.5前後のものが多く、この数値を考慮に入れると上記議論で算出した角度よりも大きな計算値が得られる。しかしながら、ビームスポットの長手方向の両端のエネルギーは減衰があるため、この部分での干渉の影響は少なく、上記の算出値で十分に干渉減衰の効果が得られる。

40

【0048】

また、前記基板として、ガラス基板、石英基板やシリコン基板、プラスチック基板、金属基板、ステンレス基板、可撓性基板などを用いることができる。上記の ϕ に対する不等式は、基板がレーザビームに対して透光性のあるもの以外には適用されない。なぜならば、

50

この場合、基板の厚さ d が全く意味のない数値となるからである。

【0049】

本発明は、照射面である半導体膜に、連続発振レーザから射出された高調波と同時に波長 $1\mu\text{m}$ 程度の基本波を補助的に照射する。また、高調波のエネルギーが比較的少なく与えられる前記半導体膜の領域には、基本波のエネルギーを比較的多く与え、高調波のエネルギーが比較的多く与えられる前記半導体膜の領域には基本波のエネルギーを比較的少なく与える。本発明は、上記の方法によって結晶性不良領域の形成を防止しながら、半導体膜上に長結晶粒領域を形成することを可能としたレーザ照射方法および照射装置、並びに半導体装置の作製方法を提供する。

【0050】

図1(b)は本発明の要旨を説明する図面である。半導体膜に楕円状のビームスポット106を照射する。ビームスポット106の波長域は半導体膜によく吸収される領域にあり、断面Aにおけるビームスポット106のエネルギー密度分布は111で示される。図中で、エネルギー密度Bは長結晶粒領域形成の閾値、エネルギー密度Cは半導体膜の熔融の閾値を表す。

【0051】

本発明は基本波によるビームスポット107をビームスポット106に重ね合わせて補助的に照射する。波長が $1\mu\text{m}$ 程度の基本波は通常の半導体膜には吸収されないが、高調波により熔融した半導体膜にはよく吸収される。そのため、ビームスポット106が照射された領域であって、かつエネルギー密度が半導体膜の熔融の閾値Cを超える領域だけが基本波を吸収する。すなわち、半導体膜に吸収されるエネルギー分布を図1(b)の実線で示したように不連続とすることができる。よって、結晶性不良領域のできるエネルギー(図1(b)中の閾値B、C間のエネルギー)を全く半導体膜に与えず、長結晶粒領域のできるエネルギーのみを半導体膜に与えることも可能となる。ビームスポット106および107を照射した時に半導体膜が吸収するエネルギー密度分布は実線112で示される。なお、基本波の吸収係数は $5 \times 10^2 / \text{cm}$ 以下であるが、通常の半導体膜にエネルギーを与え処理を行うためには $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上の吸収係数が必要である。したがって、半導体膜が熔融することによって基本波の吸収係数が少なくとも10倍以上変化すれば、本発明を適用した工程において、本発明が期待する効果が得られる。

【0052】

ビームスポット106および107により形成された半導体膜の照射跡には大きく分類して、2つの結晶状態が形成される。領域108及び110は、結晶性不良領域であり、領域109は長結晶粒領域である。領域108と109の幅はそれぞれ X_{2D} 、 X_{1D} で表される。図1(b)に示した照射跡は、図1(a)に示した、楕円状のビームスポットのみを照射して出来た照射跡よりも、結晶性不良領域の割合が非常に小さく、長結晶粒領域の割合が大きい。図1(a)の照射跡において、領域102および103はそれぞれ結晶性不良領域、長結晶粒領域である。領域102と103の幅はそれぞれ X_{2S} 、 X_{1S} で表され、 $X_{2S} \gg X_{2D}$ 、 $X_{1D} > X_{1S}$ の関係がある。また、図1(b)においては、高調波のビームスポットの長手方向の両端において幅が広く、中央において幅の狭い形状の基本波を高調波と重ねて照射させながらビームを走査させる。基本波のビームスポット107は、走査方向のビーム幅が、中央部に比べて両端が広いものを用いる。ビームスポット107を半導体膜上に走査させると、高調波のビーム中央部よりもビーム端が照射される領域に、長い時間にわたり基本波による照射エネルギーを与え続けることができる。これにより長粒径領域の幅方向において半導体膜に与えられるレーザのエネルギー分布を一樣とすることが可能となる。これは半導体膜の電気特性を一樣にする効果がある。ビームスポット107の整形は半導体膜上方に配置した金属膜などの遮光膜で行う。なお、遮光膜と半導体膜表面との距離は、回折光による影響を防ぐためできる限り小さくするのが望ましい。また、基本波のビームスポットの整形は上記以外の方法で行っても良い。回折光学素子などを用い半導体膜上で所望のビームスポットを照射させる構成としてもよい。

【0053】

以上のように、本発明では高調波のエネルギーが比較的少なく照射される領域に、基本波のエネルギーが比較的多く照射されるように、基本波のビームスポット形状あるいはエネルギー分布を整形して半導体膜上に走査させる。上記の方法によって、結晶性不良領域の形成を抑制しながら半導体膜に電気特性のより一様な長結晶粒領域を形成することが可能となる。なお、本発明では半導体膜の照射に用いるビームスポット形状は図1(b)の構成に限定されない。基本波のレーザから射出されるビームを加工し、図2(a)、(b)、(c)のような形状のビームスポットを用いてもよい。また、高調波のビームを複数用い、それらをつなげて長いビームを作り、基本波のビームスポットを重ね合わせても良い。あるいは基本波の方を複数用いてもよいし、高調波、基本波共に複数用いても構わない。また、基本波のビームスポットのエネルギー密度を図3(a)、(b)のような形状に加工し、高調波のエネルギーが比較的少なく照射される領域に基本波のエネルギーが比較的多く照射されるようにしてもよい。あるいは、図3(c)のように基本波を均一なエネルギー密度の分布を持つビームスポットに整形しても、本発明が特徴とする効果が得られる。

【0054】

本明細書で開示する半導体装置の作製方法に関する発明の構成の一つは、
基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
前記非単結晶半導体膜に対して吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上である波長範囲の第1のビームと、前記非単結晶半導体膜に対して、吸収係数が $5 \times 10^2 / \text{cm}$ 以下であり、前記非単結晶半導体膜の熔融状態に対して、吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上の波長範囲の第2のビームと、
を前記照射面に重ねて同時に照射する工程と、
前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させる工程と、
を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0055】

本明細書で開示する半導体装置の作製方法に関する発明の他の構成は、
基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
前記非単結晶半導体膜を熔融させる第1のビームと、前記非単結晶半導体膜の熔融状態に対する吸収係数 α と、前記非単結晶半導体膜の固相状態に対する吸収係数 β が、 $\alpha > 10\beta$ を満たす第2のビームと、を前記非単結晶半導体膜に重ねて同時に照射する工程と、
前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記非単結晶半導体膜を相対的に第1方向に移動させる工程と、
を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0056】

本明細書で開示する半導体装置の作製方法に関する発明の他の構成は、
基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、
可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器1から射出される第1のビームを、前記非単結晶半導体膜を照射面として、前記照射面において長いビームに加工する工程と、
前記照射面において、前記第1のビームの照射される領域に、基本波を出力するレーザ発振器2から射出される第2のビームのエネルギー分布を均一化して、前記第1のビームに重ねて照射する工程と、
前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させながら、前記非結晶半導体膜に長結晶粒領域と前記長結晶粒領域の両端にできる結晶性不良領域を形成する工程と、
前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第2方向に移動させる工程を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0057】

本明細書で開示する半導体装置の作製方法に関する発明の他の構成は、
基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、

可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを、前記非単結晶半導体膜を照射面として、前記照射面において長いビームに加工する工程と、照射面に与える第 1 のビームのエネルギー密度が高い第 1 の領域には、基本波を出力するレーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームのエネルギー密度を低くし、第 1 のビームのエネルギー密度が第 1 の領域より低い第 2 の領域には、第 2 のビームのエネルギー密度を第 1 の領域に与えるエネルギー密度より高くして、第 2 のビームを第 1 のビームに重ねて照射する工程と、

第 1 のビーム及び第 2 のビームに対して照射面を相対的に第 1 方向に移動させながら、非結晶半導体膜に長結晶粒領域と長結晶粒領域の両端にできる結晶性不良領域を形成する工程と、

第 1 のビーム及び第 2 のビームに対して照射面を相対的に第 2 方向に移動させる工程を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

10

【0058】

本明細書で開示する半導体装置の作製方法に関する発明の他の構成は、基板上に非単結晶半導体膜を形成する工程と、

可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器 1 から射出される第 1 のビームを、前記非単結晶半導体膜を照射面として、前記照射面において長いビームに加工する工程と、照射面に与える第 1 のビームのエネルギー密度が高い第 1 の領域では、基本波を出力するレーザ発振器 2 から射出される第 2 のビームの幅を細くし、第 1 のビームのエネルギー密度が第 1 の領域より低い第 2 の領域では、第 2 のビームの幅を第 1 の領域に照射するレーザの幅より太くして、第 2 のビームを第 1 のビームに重ねて照射する工程と、

20

第 1 のビーム及び第 2 のビームに対して照射面を相対的に第 1 方向に移動させながら、非結晶半導体膜に長結晶粒領域と長結晶粒領域の両端にできる結晶性不良領域を形成する工程と、

第 1 のビーム及び第 2 のビームに対して照射面を相対的に第 2 方向に移動させる工程を有することを特徴とする半導体装置の作製方法である。

【0059】

上記発明の構成において、前記長結晶粒の結晶粒領域の幅を X_1 、前記結晶性不良領域の幅を X_2 とすると、

$$X_2 / (2X_2 + X_1) < 0.1$$

30

を満たすことを特徴としている。なお、結晶性不良領域における結晶粒の大きさは通常 $1 \mu m$ 以下である。

【0060】

また、上記発明の構成において、前記第 1 のビームまたは前記第 2 のビームは、連続発振の気体レーザ、固体レーザまたは金属レーザから射出されたものであることを特徴としている。前記気体レーザとして、Arレーザ、Krレーザ、CO₂レーザ等があり、前記固体レーザとして、YAGレーザ、YVO₄レーザ、YLFレーザ、YAlO₃レーザ、Y₂O₃レーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライドレーザ、Ti：サファイヤレーザ等があり、前記金属レーザとしてはヘリウムカドミウムレーザ、銅蒸気レーザ、金蒸気レーザが挙げられる。

40

【0061】

また、上記発明の構成において、前記第 1 のビームは非線形光学素子により高調波に変換されていることを特徴とする。前記非線形光学素子に使われる結晶は、例えばLiBO₂やBBOやKDP、KTPやKB5、CLBOと呼ばれるものを使うと変換効率の点で優れている。これらの非線形光学素子をレーザの共振器の中に入れることで、変換効率を大幅に上げることができる。

【0062】

また、上記発明の構成において、前記レーザビームはTEM₀₀で発振されると、得られる長いビームのエネルギー均一性を上げることができるので好ましい。

【0063】

レーザビームに対して透光性を持つ基板上に成膜された半導体膜をアニールする場合、均

50

一なレーザビームの照射を実現するためには、照射面に垂直な平面であって、かつビームの形状を長方形と見立てたときの短辺を含む面または長辺を含む面のいずれか一方を入射面と定義すると、前記レーザ光の入射角度 ϕ は、入射面に含まれる前記短辺または前記長辺の長さが W 、前記照射面に設置され、かつ、前記レーザ光に対して透光性を有する基板の厚さが d であるとき、 $\phi \geq \arctan(W/2d)$ を満たすのが望ましい。複数のレーザビームを使用する場合、この議論は個々のレーザビームについて成り立つ必要がある。なお、レーザビームの軌跡が、前記入射面上にないときは、該軌跡を該入射面に射影したものの入射角度を ϕ とする。この入射角度 ϕ でレーザビームが入射されれば、基板の表面での反射光と、前記基板の裏面からの反射光とが干渉せず、一様なレーザビームの照射を行うことができる。以上の議論は、基板の屈折率を1として考えた。実際は、基板の屈折率が1.5前後のものが多く、この数値を考慮に入れると上記議論で算出した角度よりも大きな計算値が得られる。しかしながら、ビームスポットの長手方向の両端のエネルギーは減衰があるため、この部分での干渉の影響は少なく、上記の算出値で十分に干渉減衰の効果が得られる。

10

【0064】

また、前記基板として、ガラス基板、石英基板やシリコン基板、プラスチック基板、金属基板、ステンレス基板、可撓性基板などを用いることができる。上記の ϕ に対する不等式は、基板がレーザビームに対して透光性のあるもの以外には適用されない。なぜならば、この場合、基板の厚さ d が全く意味のない数値となるからである。

【0065】

また、本明細書で開示するレーザ照射装置に関する発明の構成の一つは、可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器1と、前記レーザ発振器1から射出される第1のビームを照射面において長いビームに加工する手段と、基本波を出力するレーザ発振器2と、前記長いビームが照射される領域において、前記レーザ発振器2から射出される第2のビームのエネルギー分布を均一化して照射する手段と、前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させる手段と、前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第2方向に移動させる手段と、を有するレーザ照射装置であることを特徴としている。

20

【0066】

本明細書で開示するレーザ照射装置に関する発明の他の構成は、可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器1と、前記レーザ発振器1から射出される第1のビームを照射面において長いビームに加工する手段と、基本波を出力するレーザ発振器2と、前記長いビームが照射される領域において、前記レーザ発振器2から射出される第2のビームのエネルギー密度を前記長いビームの両端において高く、中央において低くして、前記長いビームに重ねて照射する手段と、前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させる手段と、前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第2方向に移動させる手段と、を有するレーザ照射装置であることを特徴としている。

30

【0067】

本明細書で開示するレーザ照射装置に関する発明の他の構成は、可視光線以下の波長を出力するレーザ発振器1と、前記レーザ発振器1から射出される第1のビームを照射面において長いビームに加工する手段と、基本波を出力するレーザ発振器2と、前記長いビームが照射される領域において、前記レーザ発振器2から射出される第2のビームの幅を前記長いビームの両端において太く、中央において細くして前記長いビームに重ねて照射する手段と、前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させる手段と、前記第1のビーム及び前記第2のビームに対して前記照射面を相対的に第2方向に移動させる手段と、を有するレーザ照射装置であることを特徴としている。

40

【0068】

上記発明の構成において、前記第1方向と前記第2方向は互いに直交することを特徴とす

50

る。

【0069】

上記発明の構成において、前記レーザ発振器1及び前記レーザ発振器2は、連続発振の気体レーザ、固体レーザまたは金属レーザであることを特徴としている。前記気体レーザとして、Arレーザ、Krレーザ、CO₂レーザ等があり、前記固体レーザとして、YAGレーザ、YVO₄レーザ、YLFレーザ、YAlO₃レーザ、Y₂O₃レーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライドライドレーザ、Ti：サファイヤレーザ等があり、前記金属レーザとしてはヘリウムカドミウムレーザ、銅蒸気レーザ、金蒸気レーザが挙げられる。

【0070】

また、上記発明の構成において、前記第1のビームは非線形光学素子により高調波に変換されていることを特徴とする。前記非線形光学素子に使われる結晶は、例えばLBOやBBOやKDP、KTPやKB5、CLBOと呼ばれるものを使うと変換効率の点で優れている。これらの非線形光学素子をレーザの共振器の中に入れることで、変換効率を大幅に上げることができる。

【0071】

また、上記発明の構成において、前記第1のビームはTEM₀₀で発振されると、得られる長いビームのエネルギー均一性を上げることができるので好ましい。

【0072】

レーザビームに対して透光性を持つ基板上に成膜された半導体膜をアニールする場合、均一なレーザビームの照射を実現するためには、照射面に垂直な平面であって、かつビームの形状を長方形と見立てたときの短辺を含む面または長辺を含む面のいずれか一方を入射面と定義すると、前記レーザ光の入射角度 ϕ は、入射面に含まれる前記短辺または前記長辺の長さがW、前記照射面に設置され、かつ、前記レーザ光に対して透光性を有する基板の厚さがdであるとき、 $\phi \geq \arctan(W/2d)$ を満たすのが望ましい。複数のレーザビームを使用する場合、この議論は個々のレーザビームについて成り立つ必要がある。なお、レーザビームの軌跡が、前記入射面上にないときは、該軌跡を該入射面に射影したものの入射角度を ϕ とする。この入射角度 ϕ でレーザビームが入射されれば、基板の表面での反射光と、前記基板の裏面からの反射光とが干渉せず、一様なレーザビームの照射を行うことができる。以上の議論は、基板の屈折率を1として考えた。実際は、基板の屈折率が1.5前後のものが多く、この数値を考慮に入れると上記議論で算出した角度よりも大きな計算値が得られる。しかしながら、ビームスポットの長手方向の両端のエネルギーは減衰があるため、この部分での干渉の影響は少なく、上記の算出値で十分に干渉減衰の効果が得られる。

【0073】

また、前記基板として、ガラス基板、石英基板やシリコン基板、プラスチック基板、金属基板、ステンレス基板、可撓性基板などを用いることができる。前記ガラス基板として、バリウムホウケイ酸ガラス、またはアルミノホウケイ酸ガラスなどのガラスからなる基板が挙げられる。また、可撓性基板とは、PET、PEP、PEN、アクリルなどからなるフィルム状の基板のことであり、可撓性基板を用いて半導体装置を作製すれば、軽量化が見込まれる。可撓性基板の表面、または表面および裏面にアルミ膜(AlON、AlN、AlOなど)、炭素膜(DLC(ダイヤモンドライクカーボン)など)、SiNなどのバリア層を単層または多層にして形成すれば、耐久性などが向上するので望ましい。上記の ϕ に対する不等式は、基板がレーザビームに対して透光性のあるもの以外には適用されない。なぜならば、この場合、基板の厚さdが全く意味のない数値となるからである。

【0074】

また、本明細書で開示するレーザ照射方法に関する発明の構成の一つは、可視光線以下の波長である第1のビームを照射面において長いビームに加工し、前記長いビームを重ねて、基本波である第2のビームを前記照射面においてエネルギー分布を均一化して照射しながら前記長いビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させることを特徴とするレーザ照射方法である。

【0075】

本明細書で開示するレーザ照射方法に関する発明の他の構成は、可視光線以下の波長である第1のビームを照射面において長いビームに加工し、前記長いビームに重ねて、基本波である第2のビームを前記照射面において照射しながら前記長いビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させ、照射面に与える第1のビームのエネルギー密度が高い第1の領域には、第2のビームのエネルギー密度を低くし、第1のビームのエネルギー密度が第1の領域より低い第2の領域には、第2のビームのエネルギー密度を第1の領域に与えるエネルギー密度より高くすることを特徴とするレーザ照射方法である。

【0076】

本明細書で開示するレーザ照射方法に関する発明の他の構成は、可視光線以下の波長である第1のビームを照射面において長いビームに加工し、前記長いビームに重ねて、基本波である第2のビームを前記照射面において照射しながら前記長いビームに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させ、照射面に与える第1のビームのエネルギー密度が高い第1の領域では、第2のビームの幅を細くし、第1のビームのエネルギーが第1の領域より低い第2の領域では、第2のビームの幅を第1の領域に照射するレーザの幅より太くすることを特徴とするレーザ照射方法である。

【0077】

本明細書で開示するレーザ照射方法に関する発明の他の構成は、照射面に対して吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上である波長範囲の第1のビームと、前記照射面に対して、吸収係数が $5 \times 10^2 / \text{cm}$ 以下であり、前記照射面の熔融状態に対して、吸収係数が $5 \times 10^3 / \text{cm}$ 以上の波長範囲の第2のビームと、を前記照射面に重ねて同時に照射し、前記第1のビームと前記第2のビームとに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させることを特徴とするレーザ照射方法である。

【0078】

本明細書で開示するレーザ照射方法に関する発明の他の構成は、照射面を熔融させる第1のビームと、前記照射面の熔融状態に対する吸収係数 α と、前記照射面の固相状態に対する吸収係数 β が、 $\alpha > 10\beta$ を満たす第2のビームと、を前記照射面に重ねて同時に照射し、

前記第1のビームと前記第2のビームとに対して前記照射面を相対的に第1方向に移動させることを特徴とするレーザ照射方法である。

【0079】

上記発明の構成において、前記第1のビームまたは前記第2のビームは、連続発振の気体レーザ、固体レーザまたは金属レーザから射出されたものであることを特徴としている。前記気体レーザとして、Arレーザ、Krレーザ、CO₂レーザ等があり、前記固体レーザとして、YAGレーザ、YVO₄レーザ、YLFレーザ、YAlO₃レーザ、Y₂O₃レーザ、ルビーレーザ、アレキサンドライドレーザ、Ti:サファイヤレーザ等があり、前記金属レーザとしてはヘリウムカドミウムレーザ、銅蒸気レーザ、金蒸気レーザが挙げられる。

【0080】

また、上記発明の構成において、前記第1のビームは非線形光学素子により高調波に変換されていることを特徴とする。前記非線形光学素子に使われる結晶は、例えばLBOやBBOやKDP、KTPやKB5、CLBOと呼ばれるものを使うと変換効率の点で優れている。これらの非線形光学素子をレーザの共振器の中に入れることで、変換効率を大幅に上げることができる。

【0081】

また、上記発明の構成において、前記レーザビームはTEM₀₀で発振されると、得られる長いビームのエネルギー均一性を上げることができるので好ましい。

【0082】

レーザビームに対して透光性を持つ基板上に成膜された半導体膜をアニールする場合、均一なレーザビームの照射を実現するためには、照射面に垂直な平面であって、かつビームの形状を長方形と見立てたときの短辺を含む面または長辺を含む面のいずれか一方を入射

10

20

30

40

50

面と定義すると、前記レーザー光の入射角度 ϕ は、入射面に含まれる前記短辺または前記長辺の長さが W 、前記照射面に設置され、かつ、前記レーザー光に対して透光性を有する基板の厚さが d であるとき、 $\phi \geq \arctan(W/2d)$ を満たすのが望ましい。複数のレーザービームを使用する場合、この議論は個々のレーザービームについて成り立つ必要がある。なお、レーザービームの軌跡が、前記入射面上にないときは、該軌跡を該入射面に射影したものの入射角度を ϕ とする。この入射角度 ϕ でレーザービームが入射されれば、基板の表面での反射光と、前記基板の裏面からの反射光とが干渉せず、一様なレーザービームの照射を行うことができる。以上の議論は、基板の屈折率を1として考えた。実際は、基板の屈折率が1.5前後のものが多く、この数値を考慮に入れると上記議論で算出した角度よりも大きな計算値が得られる。しかしながら、ビームスポットの長手方向の両端のエネルギーは減衰があるため、この部分での干渉の影響は少なく、上記の算出値で十分に干渉減衰の効果

10

【0083】

また、前記基板として、ガラス基板、石英基板やシリコン基板、プラスチック基板、金属基板、ステンレス基板、可撓性基板などを用いることができる。上記の ϕ に対する不等式は、基板がレーザービームに対して透光性のあるもの以外には適用されない。なぜならば、この場合、基板の厚さ d が全く意味のない数値となるからである。

【発明の効果】

【0084】

本発明の構成によってレーザーアニールを行うことにより、半導体膜上に形成される結晶性不良領域をできる限り小さくすることができ、長結晶粒領域の割合を高くすることが可能になる。従ってTFTを配置できない領域を低減させ、半導体素子の高集積化を行うことが可能になる。また、本発明では、波長が $1\mu\text{m}$ 程度の基本波を高調波と同時に半導体膜に照射するため、該半導体膜の急激な温度変化の抑制や、出力の小さい高調波のエネルギーの補助などを効率良く行うことができる。以上の利点を満たした上で、アクティブマトリクス型の液晶表示装置に代表される半導体装置において、半導体装置の動作特性および信頼性の向上を実現することができる。さらに、半導体装置の製造コストの低減を実現することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0085】

30

〔実施の形態1〕

本発明の実施形態について図4を用いて説明する。本実施形態では、長いビーム205及び長いビーム206を形成し半導体膜表面204に照射する例を示す。

【0086】

まず、LD励起式の10Wのレーザー発振器201(Nd:YVO₄レーザー、CW、第2高調波(532nm))を用意する。前記レーザー発振器は、TEM₀₀の発振モードで、共振器にLiBO結晶が内蔵されており、第2高調波に変換されている。特に第2高調波に限定する必要はないがエネルギー効率の点で、第2高調波の方が、さらに高次の高調波と比較して優れている。ビーム径は2.25mmである。広がり角は0.3mrad程度である。45°反射ミラー202にて、鉛直方向から角度 ϕ ずれた方向にレーザービームの進行方向を変換する。次に、焦点距離20mm、平面の部分が水平面と一致する平凸レンズ203にレーザービームを角度 ϕ で入射させる。前記角度 ϕ は適宜変更してよいが、本実施例では20°とする。照射面には半導体膜204を設置し、水平面と平行とする。半導体膜204はガラス基板の表面に成膜する。半導体膜204と平凸レンズ203との距離は、20mm程度とし、できるだけ入射面に平行な方向に伸びた長いビーム205が半導体膜204上に形成されるよう、距離を微調整する。微調整の精度は50 μm 程度とする。これにより、長径500 μm 、短径20 μm 程度の楕円に近い形状の長いビーム205が形成される。

40

【0087】

半導体膜204が成膜された基板は、厚さ d のガラス基板であり、レーザー照射の際に基板が落ちないように、吸着ステージ207に固定されている。吸着ステージ207は、X軸

50

用の一軸ロボット208とY軸用の一軸ロボット209により、半導体膜204の表面に平行な面上をXY方向に動作できる。前述の干渉が出ない条件式は、

$$\phi \geq \arctan(W/2d)$$

であるから、例えば基板に厚さ0.7mmのものをを使うと

$$\phi \geq 19.7^\circ$$

となる。

【0088】

次に、出力350Wのレーザ発振器210(Nd:YAGレーザ、CW、基本波(1.064μm)、TEM₀₀)を用意する。レーザ発振器により発振された基本波は光ファイバ212を透過し、射出される。光ファイバ212は伝送形式がSI型、コア径が直径0.6mmであり、光ファイバ212からの出射光の開口数(NA)は0.2である。光ファイバ212からの出射光は平凸レンズ211で集束させる。平凸レンズ211は、光ファイバ212の径に対し等倍の集光倍率を有し、平凸レンズ211から170mmの位置にある焦点位置でのビームスポット径は直径0.6mmとなる。基本波は半導体膜204に対して角度θで入射させる。角度θは55°程度とする。ビームスポットは半導体膜204の表面から100μm上方に配置した遮光膜213によって整形する。遮光膜213により図2(c)の形状に形成されたビーム206は、長径が800μmである。また、ビーム206の短径は中心部において細く、両端部において太い形状であり、ビーム中心部と両端部での幅はそれぞれ300μm、400μmで、それらの間の幅は連続的に変化させる。ビーム206はビーム205を覆うように配置する。あるいはカライドスコープなどを使って長方形のエネルギー分布の均一なビームを形成してもよい。また、透過率の空間分布を持ったフィルターを用いてビーム206の中心のエネルギー密度を下げてよい。

【0089】

波長が1μm程度の基本波は通常の半導体薄膜にはあまり吸収されないため効率が悪いが、第2高調波を同時に用いると、第2高調波により溶かされた半導体薄膜に基本波がよく吸収されて、より半導体膜のアニール効率が良くなる。すなわち、半導体膜の液化による吸収係数の上昇を利用することで、基本波を本工程に採用できるようにする。その効果は、半導体膜204の急激な温度変化を抑えることや、出力の小さい第2高調波のレーザビームのエネルギーの補助などである。特に基本波の広がりや第2高調波の長いビーム205の短径方向に大きくとると、温度変化をゆるやかにすることができる。基本波は、高調波とは異なり、波長変換のための非線形光学素子を用いる必要がなく、非常に大出力なレーザビーム、例えば高調波の100倍以上のエネルギーをもつものを得ることが可能である。このようなエネルギー差が生じるのは、非線形光学素子の対レーザの耐力が非常に弱いからである。また、高調波を発生させる非線形光学素子は変質しやすく、固体レーザの利点であるメンテナンスフリーの状態を長く保てないなどの欠点がある。よって、本発明により基本波で高調波を補助することは、非常に意義のあることと言える。

【0090】

次に、半導体膜の作製方法の例を示す。前記半導体膜は、可視光線に対して透明なガラス基板上に形成する。具体的には、厚さ0.7mmのガラス基板の片面に厚さ200nmの酸化窒化シリコンを成膜しその上に厚さ66nmの非晶質シリコン膜をプラズマCVD法にて成膜する。さらに半導体膜のレーザに対する耐性を高めるために、500℃、1時間の熱アニールを該半導体膜に対して行う。前記熱アニールの他に、従来技術の項目で述べた金属元素による半導体膜の結晶化を行ってもよい。どちらの膜を使っても、最適なレーザビームの照射条件はほぼ同様である。

【0091】

ついで、前記半導体膜204に対するレーザの照射の例を示す。レーザ発振器201の出力は最大10W程度であるが、長いビーム205のサイズが比較的小さいためエネルギー密度が十分あり、9W程度に出力を落として照射を行う。また、レーザ発振器210の出力は350Wとし、長いビーム205を覆うようにビーム206を形成する。Y軸ロボッ

ト 209 を使って長いビーム 205 の短径方向に半導体膜 204 が成膜された基板を走査させることにより、レーザアニールを行うことができる。

【0092】

上記の方法によって実際にレーザアニールされた半導体膜の様子を図 5 に示す。図 5 (a) は透過型明視野顕微鏡写真、図 5 (b) は反射型暗視野顕微鏡写真である。長いビーム 205 の長径方向、幅 $235\text{ }\mu\text{m}$ の領域に、走査方向に長く伸びた長結晶粒領域が形成でき、長結晶粒領域の両端に結晶性不良領域が幅 $15\text{ }\mu\text{m}$ 形成される。前記走査のとき、先に基本波が前記半導体膜 204 に照射され、その後、第 2 高調波が照射され、最後に基本波が再び照射される。基本波は熔融状態のシリコンには吸収されるため、半導体膜 204 の急激な温度変化を抑えることが可能となる。

10

【0093】

また、図 5 (c) および図 5 (d) にはレーザ発振器 201 の出力を 10 W とし、レーザ発振器 210 からの基本波を照射しないでレーザアニールした場合の半導体膜の様子を示す。図 5 (c) は透過型明視野顕微鏡写真、図 5 (d) は反射型暗視野顕微鏡写真である。長いビーム 205 の長径方向、幅 $220\text{ }\mu\text{m}$ の領域に、走査方向に長く伸びた長結晶粒領域が形成され、長結晶粒領域の両端に結晶性不良領域が幅 $25\text{ }\mu\text{m}$ 形成される。図 5 (a) および (b) と比べ、長結晶粒領域が狭くなり、結晶性不良領域が広がっていることがわかる。これらの結果から、本発明の方法によって長結晶粒領域の両端にできる結晶性不良領域の割合を低減できることがわかる。なお、図 5 (b) および図 5 (d) の照射跡の両端には表面ラフネスの強い部分(図中、黒い部分)があることが示されているが、本発明の方法を採用することによって表面ラフネスの強い部分も低減しながらレーザアニールできることがわかる。

20

【0094】

なお、本実施例において、高調波のレーザビームの入射角度は 20° 以上とする。これにより干渉が抑制されるので、より均一なレーザの照射が可能となる。走査速度は数十 cm/s ~ 数百 cm/s 程度が適当であり、ここでは 50 cm/s とする。

【0095】

図 8 に半導体膜全面を長結晶粒領域とする照射方法を示す。識別を容易にするため図中の符号は図 4 と同じものを使った。半導体膜が成膜された基板を吸着ステージ 207 に固定し、レーザ発振器 201 及びレーザ発振器 210 を発振させる。出力は 9 W 及び 300 W とし、まず Y 軸ロボット 209 により走査速度 50 cm/s にて、半導体膜表面を 1 筋走査する。前記 1 筋は図 8 中において、A1 の部分に相当する。図 8 中、Y 軸ロボットにて、往路 A_m (m は正の整数) の部分をレーザ照射した後、X 軸ロボット 208 により、長結晶粒領域と結晶性不良領域の幅分だけ長いビームをその長径方向にスライドさせ、復路 B_m の部分をレーザ照射する。あるいは長結晶粒領域の幅分のみスライドさせレーザ照射してもよい。このような一連の動作を繰り返すことにより、半導体膜全面において長結晶粒領域の割合を高く保つことができる。なお、長結晶粒領域の半導体膜の特性は非常に高く特に TFT などの半導体素子を作製した場合には極めて高い電気移動度を示すことが期待できるが、そのような高い特性が必要でない半導体膜の部分には長結晶粒領域を形成する必要がない。よって、そのような部分にはレーザビームを照射しない、もしくは長結晶粒領域を形成しないようにレーザ照射を行ってもよい。長結晶粒領域を形成しないで効率よく半導体膜をアニールするには、例えば、走査の速度を増加させればよい。本発明人の実施によれば、 2 m/s 程度の速度で長いビーム 205 のみを走査させると、非晶質シリコン膜を結晶化させることができるが、このとき長結晶粒領域は形成されず、いわゆる一般に言われるポリシリコン膜が形成された。なお、上記の条件は照射対象の半導体膜やレーザビームのエネルギー分布などに影響されることは言うまでもない。

30

40

【0096】

[実施の形態 2]

本実施形態では、第 2 高調波を整形して得られる長いビームを幾つか組み合わせ、より長いビームを形成し、さらに、基本波によりエネルギーの補助を施す例を図 6 に沿って示す

50

【0097】

まず、図示しないLD励起式の10Wのレーザ発振器(Nd:YVO₄レーザ、CW、第2高調波(532nm))を4台用意する。前記レーザ発振器は、TEM₀₀の発振モードで、共振器にLBO結晶が内蔵されており、第2高調波に変換されている。ビーム径は2.25mmである。広がり角は0.3mrad程度である。反射ミラーを幾つか使用することで、鉛直方向から角度 β ずれた方向にレーザビームの進行方向をそれぞれ変換し、照射面にほぼ1つに合成されるように4方向から入射させる。前記4方向は、それぞれ光軸A、光軸B、光軸C、光軸Dと一致させる。光軸Aと光軸B、及び、光軸Cと光軸Dは、照射面に対し垂直な平面Aに対し面対称に位置させ、光軸Aと光軸Bとのなす角度、及び、光軸Cと光軸Dの成す角度、をそれぞれ20°とする。また、平面Aと照射面に垂直な平面Bに対して、光軸Aと光軸C、及び、光軸Bと光軸Dを面対称に位置させ、光軸Aと光軸Bを含む平面Cと、光軸Cと光軸Dを含む平面Dとの成す角度を50°とする。

10

【0098】

次に、焦点距離150mmの平凸シリンジカルレンズ401a、401b、401c、及び401dを、前記光軸A、光軸B、光軸C、及び光軸Dにそれぞれ0°で入射させるよう配置する。このとき前記平凸シリンジカルレンズの集光方向は平面Cまたは平面Dに含まれる方向とする。前記平凸シリンジカルレンズ401a~401dと照射面との距離はそれぞれの光軸上で測って110~120mmの間で調整する。

20

【0099】

さらに、焦点距離20mmの平凸シリンジカルレンズ402a及び402bの母線が、前記平面C及び平面Dにそれぞれ含まれるように配置する。前記母線は、シリンジカルレンズの曲面部における、シリンジカルレンズの平面部から最も離れた場所に位置する母線とする。また、前記、平凸シリンジカルレンズ402a及び402bの平面部と、前記平面C及び平面Dとは、互いにそれぞれ直交するように配置する。前記平凸シリンジカルレンズ402a、402bと照射面との距離はそれぞれの光軸上で測って約18mmの辺りで調整する。

【0100】

以上の配置により、長径400 μ m、短径20 μ m程度のサイズの長いビームが4つ、照射面において形成される。このままでは、前記照射面において、4つのビームは完全に1つに合成されるので、より長いビームを形成することは出来ないが、各レンズの位置を微調整することで、図6b)に記載したような配置に変換することができる。すなわち、4つ長いビーム405a、405b、405c及び405dの長径を一直線上に配置し、それらを前記直線の方に互いにずらし合わせることで、長いビームをより長いビームとすることができる。これにより、幅1.5mmの長結晶粒領域が得られる。

30

【0101】

次に、出力2000WのCWのLD励起YAGレーザ(基本波)を用い、回折光学素子などの光学系404によりビーム405eを照射面に形成する。ビーム405eの長径は2mmである。また、ビーム405eの短径は中心部において細く、両端部において太い形状である。ビーム中心部と両端部での幅はそれぞれ0.8mm、1mmで、それらの間の幅は連続的に変化させる。このとき前記4つの長いビームを覆うように前記ビーム405eを形成する。あるいはカライトスコープを使って長方形のエネルギー分布の均一なビームを形成してもよい。

40

【0102】

以上のようにして形成した長いビームを用い、例えば実施形態1で示したX軸用の一軸ロボット208とY軸用の一軸ロボット209などを用いて半導体膜を全面結晶化すればよい。半導体膜は例えば、実施形態1で示した方法にて作製すればよい。本実施形態を用いる利点は、より長いビームが出来ているので処理時間が短く済み、また、ガウシアンライクのエネルギー分布を持つ長いビームを互いにオーバーラップさせて隣接させることでエネルギー分布を長径方向に均一化できるため、比較的温度のムラが抑えられるので好まし

50

い。

【0103】

[実施の形態3]

本実施形態では、第2高調波を整形して得られる長いビームをガルバノミラーなどの偏向手段を用いて、さらに、基本波によるビームをガルバノミラーなどの偏向手段を用いて照射しエネルギーの補助を施す例を図7に沿って示す。

【0104】

まず、LD励起式の10Wのレーザ発振器601(Nd:YVO₄レーザ、CW、第2高調波(532nm))を用意する。前記レーザ発振器は、TEM₀₀の発振モードで、共振器にLBO結晶が内蔵されており、第2高調波に変換されている。ビーム径は2.25mmである。広がり角は0.3mrad程度である。このビームは丸型なので、これを長楕円形に変換する光学系602に入射させる。変換手段は、例えば、シリンドリカルレンズ2枚構成のビームエキスパンダーとし、1方向だけビームを伸ばし楕円形としてもよい。また、通常のビームエキスパンダーを前記ビームエキスパンダーに組み合わせて用い、広がり角を制御してもよい。次いで、ガルバノミラー603にて、楕円形状に変換されたレーザビームを偏向する。偏向されたレーザビームはfθレンズ604を介し、半導体膜606が形成する平面上に到達する。fθレンズにより、楕円形状に変換された前記レーザビームを前記平面上で集光する。これにより、例えば短径20μm、長径400μmの長いビーム605が前記平面上に形成される。ガルバノミラー603の角度を変化させることで、前記平面上において、前記長いビーム605を走査させる。ガルバノミラーの角度による長いビーム605の形状の変化はfθレンズ604により抑えられる。レーザビームの半導体膜606に対する入射角度は20°とする。これにより半導体膜606上における、半導体膜606表面からのレーザビームの反射光と半導体膜606が成膜された基板の裏面からのレーザビームの反射光との干渉の発生を防ぐことができる。

【0105】

第2高調波により形成される長いビーム605に合わせて半導体膜606に基本波を照射するため、出力300WのLD励起のYAGレーザ608(Nd:YAGレーザ、CW、基本波(1.064μm)、TEM₀₀、広がり角は3mrad程度)を用意する。レーザ発振器により発振された基本波は光ファイバ612を透過し、射出される。光ファイバは伝送形式がS1型、コア径が直径0.6mmであり、光ファイバからの出射光のNAは0.2である。光ファイバからの出射光を、光学系613により長方形のエネルギー分布の均一なレーザビームに加工しコリメートさせる。出射光の加工はカライドスコープによって行う。加工したレーザビームをガルバノミラー609にて、半導体膜606方向に偏向する。偏向されたレーザビームはfθレンズ610を介し、半導体膜606が形成する平面上に到達する。fθレンズにより、前記レーザビームを前記平面上で集光する。これにより、ビーム611が前記平面上に形成される。ビーム611の長径は1mmである。また、ビーム611の短径は中心部において細く、両端部において太い形状である。ビーム中心部と両端部での幅はそれぞれ450μm、600μmで、それらの間の幅は連続的に変化させる。ビーム611はビーム605を覆うように配置する。あるいは長方形(例えば、1mm×0.5mm程度)にビームを整形してもよい。

【0106】

ガルバノミラー609の角度を変化させることで、前記平面上において、前記ビーム611を走査させる。ガルバノミラー609の動作はガルバノミラー603の動作に同期させて行うように制御し、前記平面上において、ビーム611を前記第2高調波の長いビーム605の位置に合わせて走査させる。ガルバノミラーの角度によるビーム611の形状の変化はfθレンズ610により抑えられる。レーザビームの半導体膜606に対する入射角度は55°程度とする。これにより半導体膜606上における、半導体膜606表面からのレーザビームの反射光と半導体膜606が成膜された基板の裏面からのレーザビームの反射光との干渉の発生を防ぐことができる。

【0107】

10

20

30

40

50

本実施形態では、ガルバノミラー 603 および 609 はそれぞれ 1 枚構成で用い、1 軸のみの走査とする。これでは、2 次元平面の全面走査ができないので、前記基板を 1 軸ステージ 607 に載せ、図 7 紙面の左右方向に動作させ、基板全面をアニールできるようにする。長いビーム 605 の走査の速度は、100～2000 mm/s とし、好ましくは 500 mm/s 程度とする。

【0108】

半導体膜 606 の全面をレーザアニールするために、例えば、ガルバノミラー 603 および 609 を半周期動作させた後、1 軸ステージ 607 を長結晶粒領域の幅の分だけ移動させ、再びガルバノミラー 603 を半周期動作させることを繰り返し行えばよい。本実施形態では、前記長結晶粒領域の幅は 235 μ m 程度であり、その分だけ 1 軸ステージ 607

10

【0109】

なお、本実施の形態では基本波のレーザビームをガルバノミラーによって走査する構成について説明したが、ガルバノミラーを使わずに、ファイバーおよび光学系を基板に対して相対的に動作させることによって、第 2 高調波のレーザビームの照射位置と同位置に基本波のレーザビームを走査させる構成としてもよい。

【0110】

[実施の形態 4]

本実施の形態では、同一基板上に表示素子を含む画素がマトリクス状に配置された画素部、該画素部を制御する駆動回路、保護回路、及びメモリなどの電気回路を形成した所謂システムオンパネルについて、図 9 を用いて説明する。

20

【0111】

図 9 (B) において、パネルは、基板 501 上に複数の画素 507 がマトリクス状に配置された画素部 502、該画素部 502 を制御する信号線駆動回路 503、走査線駆動回路 504 及び 505 が配置され、さらに、FPC 506 を介して IC などの外部回路と接続される。保護回路 508a、508b は、入力される信号のノイズや静電対策を目的として設けられるものである。つまり、外部回路から入力されるスタートパルス、クロック、クロックバック及びビデオ信号の各信号が入力される駆動回路と、これらの信号を外部から供給する外部回路との間に配置される。そのため、パネルでは、スタートパルス、クロック及びクロックバックが入力される各駆動回路 503～505 と FPC 506 の間に保護回路 508a が配置され、さらにビデオ信号が入力されるビデオ線が配置された信号線駆動回路 503 と画素部 502 との間に保護回路 508b が配置される。保護回路 508a、508b には、瞬間的に大電流が流れる、又は大電圧が印加される可能性があるため、耐圧に優れた非晶質半導体により構成することが好適である。

30

【0112】

なお、保護回路の配置は、上記構成に限定されず、例えば画素部 502 と走査線駆動回路 504、505 との間に配置してもよいし、画素 507 内に配置してもよい。但し、画素 507 内に配置する場合は、画素 507 において非晶質半導体と結晶質半導体を作り分けることになるため、その画素ピッチ、トランジスタのチャネル長及びチャネル幅、並びにレーザ光の照射領域の幅等のパラメータを考慮する必要がある。

40

【0113】

画素部 502 に配置された複数の画素 507 の各々には表示素子が配置されており、例えば発光素子や液晶素子等の表示素子が配置されている。このような表示素子を制御するトランジスタは、非晶質半導体及び結晶質半導体のどちらも好適であるが、その用途や対応する表示素子に応じて選択する。例えば、20 インチ程度の大型パネルで、表示素子として液晶素子を用いる場合には、非晶質半導体を活性層としたトランジスタを用いても、その応答速度による影響はないので、安価な非晶質半導体を用いることが好適である。また、表示素子として自発光の発光素子を用いる場合には、応答速度が速いため、応答速度に優れた結晶質半導体を活性層としたトランジスタを用いることが好適である。

【0114】

50

信号線駆動回路503にはシフトレジスタやバッファが設けられ、点順次走査を行う場合にはサンプリング回路、線順次走査を行う場合にはラッチ回路が設けられる。また、走査線駆動回路504、505にはシフトレジスタやバッファが設けられる。このような駆動回路に設けられる素子は、高速動作が要求されるため、結晶質半導体を活性層としたトランジスタを用いることが好適である。

【0115】

また、パネルには、メモリ等の論理回路を含む電気回路530が設けられている。なお、電気回路530の詳細な説明は後述するが、高速動作が要求される当該電気回路530を構成する素子には、連続発振のレーザを用いることで、結晶欠陥が少なく、大粒径の多結晶半導体を用いた素子を適用することが好適である。また、連続発振のレーザによる結晶質半導体を用いた素子は、その移動度や応答速度が良好なために高速駆動が可能で、従来よりも素子の動作周波数を向上させることができ、特性バラツキが少ないために高い信頼性を得ることができる。照射面である半導体膜に、連続発振レーザから射出された高調波と同時に波長1 μ m程度の基本波を補助的に照射する。また、高調波のエネルギーが比較的少なく与えられる前記半導体膜の領域には、基本波のエネルギーを比較的多く与え、高調波のエネルギーが比較的多く与えられる前記半導体膜の領域には基本波のエネルギーを比較的少なく与える。特に本発明においては、連続発振のレーザを用いることにより生じる、結晶性不良領域が非常に少ないので、半導体素子を高密度に集積できる。上記実施の形態1乃至3のいずれかを用いて連続発振のレーザを照射する。

10

20

【0116】

まず、基板501におけるレイアウトが決定し、各回路に非晶質半導体及び結晶質半導体のどちらを適用するかが決定したら、結晶質半導体を含む回路の配置箇所にのみにレーザ光を照射するように設定する。より詳しくは、結晶質半導体を含む回路の配置箇所にのみ、線状に集光された連続発振のレーザ光を一方方向に走査させながら、基板501上に全面に形成された非晶質半導体（被照射体）に照射することで、走査方向に向かって結晶を連続的に成長させ、該走査方向に沿って長く延びた単結晶からなる結晶粒が集まるようにする。

【0117】

本形態の場合には、例えば、最初に図9(A)の(1)に示すように、電気回路530に相当する部分にレーザ光を照射し、次いで(2)に示すように、各駆動回路に相当する部分にレーザ光を照射し、最後に(3)で示すように画素部502に相当する部分にレーザ光を照射することで、選択的に行うことができる。そうすると、各回路の要求に応じて、非晶質半導体と結晶質半導体とを簡単にかつ同時に作り分けることができる。

30

【0118】

次いで、図9(B)～(D)を用いて、電気回路530の構成とその簡単な動作について説明する。

【0119】

図9(B)において、電気回路530は、メモリ531、CPU532、VRAM533及びインターフェイス534、システムバス535を有し、画素などの他の回路と共に絶縁表面を有する基板上に一体形成されている。メモリ531は、SRAMやDRAMといった揮発性メモリにより構成され、画像データを保存する。またVRAM533は、SRAMやDRAMといった揮発性メモリによって構成される。インターフェイス534は、外部装置から入力された信号の一時的な保存、フォーマット変換などを行う。その動作について簡単に説明すると、画像データや、キーボードやROMである外部装置から供給される制御信号は、インターフェイス534及びシステムバス535を介して、CPU532と外部装置との間で通信される。CPU532は処理中の画像データやロジック回路の制御信号をメモリ531に一時的に格納し、処理された画像データはVRAM533に格納される。VRAM533に格納された画像データは、駆動回路を介して、各画素507に供給される。

40

【0120】

50

図 9 (C) において、電気回路 530 は、フレームメモリ 538、タイミング生成回路 536 及びフォーマット変換回路 537 を有し、画素などの他の回路と共に絶縁表面を有する基板上に一体形成されている。タイミング生成回路 536 は、各駆動回路の動作タイミングを決めるクロック、クロックバックを生成する。フォーマット変換回路 537 は、外部装置から FPC を介して入力される圧縮符号化された信号の伸長復号、画像の補間やリサイズなどの画像処理が行われる。フォーマット変換された画像データは、フレームメモリ 538 に格納され、この格納された画像データは、駆動回路を介して、各画素 507 に供給される。

【0121】

図 9 (D) において、電気回路 530 は、VRAM 533、マスク ROM 539、画像処理回路 540、メモリ 531、CPU 532 及びインターフェイス 534 を有し、画素などの他の回路と共に絶縁表面を有する基板上に一体形成されている。インターフェイス 534 およびシステムバス 535 を介して、キーボードなどの外部装置との間で制御信号が通信される。マスク ROM 539 には、プログラムデータや画像データが格納される。マスク ROM 539 に格納されているデータは、CPU 532 によって、メモリ 531 との間で随時読み書きしながら処理される。画像データは画像処理回路 540 でリサイズ等の処理が施され、VRAM 533 に格納される。VRAM 533 に格納されたデータは、駆動回路を介して、各画素 507 に供給される。

【0122】

上述した電気回路 530 に含まれる各回路は、主に半導体素子により構成され、具体的にはトランジスタなどの 3 端子素子、ダイオードなどの 2 端子素子、容量素子、抵抗素子などが挙げられる。各回路は、高速動作が要求されるため、本発明は連続発振レーザにより形成された結晶質半導体を活性層とした高移動度のトランジスタを用いる。そうすると、高速動作が実現され、メモリ 531、フレームメモリ 538 として SRAM を用いる場合には、読み出しサイクルとして 200 nsec、DRAM を用いる場合には、読み出しサイクルとして 1 μ sec 以下を実現する。また、CPU 532、画像処理回路 537 の動作周波数は 5 MHz 以上を実現する。なお、電気回路 530 の構成は、上記に限定されず、レジスタ、デコーダ、カウンタ、分周回路、メモリ、CPU 及び DSP 等から選択された一種又は複数種を含んでもよい。

【0123】

一方、保護回路 508a、508b には、瞬間的に大電流が流れる、又は大電圧が印加される可能性があるため、耐圧に優れた非晶質半導体により構成することが好適である。

【0124】

また、結晶質半導体を活性層としたトランジスタを用いると、絶縁表面上に様々な回路群を作り込むモノシリック化が実現され、このようなパネルは、接続する IC などの周辺回路を少なくすることができるため、すっきりとした構造となる。これは、結晶質半導体を用いた場合の大きな長所である。本実施の形態のように、電気回路 530 として、様々な回路を同一基板上に作り込んで作製されたシステムオンパネルは、小型、軽量、薄型の条件が実現されるため、適用される電子機器全てに有効であるが、そのなかでも携帯端末には特に有効である。

【0125】

本実施の形態は、上記の実施の形態と自由に組み合わせることが可能である。

【0126】

以上の構成でなる本発明について、以下に示す実施例でもってさらに詳細な説明を行うこととする。

【実施例 1】

【0127】

本実施例では、結晶質半導体を活性層とした N チャネル型トランジスタ及び P チャネル型トランジスタ、並びに非晶質半導体を活性層としたトランジスタを同一基板上に形成する作製工程について、図面を用いて説明する。

10

20

30

40

50

【0128】

基板300は、絶縁表面を有する基板を用いる（図10（A））。本実施例ではバリウムホウケイ酸ガラスからなる基板300を用いた。続いて、基板300上にTa、W、Ti、Mo、Al、Cu、Cr、Ndから選択された元素、前記元素を主成分とする合金材料若しくは化合物材料、リン等の不純物元素をドーピングした多結晶珪素膜に代表される半導体膜やAgPdCu合金などの公知の導電性を有する材料により被膜を形成し、その後、パターン加工を行って導電層301を形成した。この導電層301は、ゲート電極に相当する。続いて、絶縁膜302として、公知の方法（プラズマCVD法等）により、窒化酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの珪素を含む絶縁膜を単層又は積層形成した。この絶縁膜302は、ゲート絶縁膜と下地膜の2つの役割を果たす。

10

【0129】

次に、公知の方法（スパッタリング法、LPCVD法、プラズマCVD法等）により25～80nmの厚さで非晶質半導体303を形成した。その後、本発明では、レーザ結晶化法を用いて結晶質半導体を形成するが、その際、連続発振のレーザ光を選択的に照射することで、非晶質半導体及び結晶質半導体を同一基板上に形成することを特徴とする。本工程におけるレーザは、連続発振の気体レーザ又は固体レーザを用いる。本実施例では、連続発振のYVO₄レーザの第2高調波（波長532nm、5W）と、連続発振のYAGレーザの基本波（波長1.064μm、350W）を用い、実施の形態に示した方法によって非晶質半導体303上を選択的に走査して、基板300上に非晶質半導体303及び結晶質半導体304を形成する。照射面である半導体膜に、連続発振レーザから射出された高調波と同時に波長1μm程度の基本波を補助的に照射する。また、高調波のエネルギーが比較的少なく与えられる前記半導体膜の領域には、基本波のエネルギーを比較的多く与え、高調波のエネルギーが比較的多く与えられる前記半導体膜の領域には基本波のエネルギーを比較的少なく与える。これにより形成される長結晶粒領域は、従来と比較し半導体膜における充填率が非常に高いため、高密度に半導体素子を集積できる。本実施例においては、非晶質半導体303を形成する例を示したが、本発明を用いれば、半導体膜全面を結晶質半導体304とすることも可能である。このようにすれば、半導体膜全面のどこにでも高特性の半導体素子を形成できるようになるため、高速動作が要求されるCPUなどの製作に有利である。

20

【0130】

その後、CVD法などの公知の技術を用いて、シラン（SiH₄）ガスとフォスフィンガス（PH₃）の混合ガスを供給することで、リン（P）をドーピングしたN型の非晶質半導体を成膜した。続いて、非晶質半導体303及び結晶質半導体304、並びにN型の非晶質半導体305にパターン加工を行って、非晶質半導体層306、結晶質半導体層307、308、N型半導体層309～311を形成する（図10（B））。

30

【0131】

次いで、レジストからなるマスク312を形成し、結晶質半導体層307、308に接する各N型半導体層310、311を公知の方法により除去した（図10（C））。より詳しくは、N型半導体層310、311と結晶質半導体層307、308との選択比を利用してエッチング法によりN型半導体層310、311を除去する。

40

【0132】

続いて、N型半導体層309及び結晶質半導体層310、311を被覆するように、公知の導電性を有する材料により導電膜3120を形成する（図10（D））。

【0133】

その後、レジストからなるマスクを用いて、N型半導体層313、314と、導電層315、316を形成する（図10（E））。この際、非晶質半導体層306には、多少膜減りが生じる。その後、導電層315、316及び結晶質半導体層307、308を被覆するように絶縁膜317を形成する。この絶縁膜317は、保護膜とゲート絶縁膜の2つの役割を果たす。

【0134】

50

次いで、絶縁膜 317 上に、公知の導電性を有する材料を用いて、膜厚 20 ~ 100 nm の第 1 導電膜 318 を形成する (図 11 (A))。次に、第 1 導電膜 318 を被覆するように、膜厚 100 ~ 400 nm の第 2 導電膜及び膜厚 100 ~ 400 nm の窒化珪素膜を積層形成する。続いて、最初に窒化珪素膜をパターン加工して、絶縁層 321、322 を形成し、次に絶縁層 321、322 をマスクとして、第 2 導電膜をパターン加工して、導電層 319、320 を形成する。

【0135】

次に、フォトリソグラフィ法を用いてレジストからなるマスク 323 を形成して、ドーピング処理を行う。本処理では、半導体層 307、308 に、リン又はヒ素などの 15 族に属し、N 型を付与する不純物元素を低濃度に添加する。本実施例ではドーズ量を $5.0 \times 10^{13} \text{ ions/cm}^2$ 、加速電圧を 50 keV の条件下で、リンを用いてドーピング処理を行う。この際、導電層 319、320 及び絶縁層 321、322 が N 型を付与する不純物元素に対するマスクとなつて、自己整合的に不純物領域 324、325 が形成され、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ の濃度範囲で N 型を付与する不純物元素が添加される。

【0136】

続いてレジストからなるマスク 323 を除去した後、異方性のサイドエッチングを行って導電層 319、320 を後退させて、導電層 326、327 を形成する (図 11 (B))。

【0137】

その後、マスクとして機能した絶縁層 321、322 をエッチングにより除去した (図 11 (C))。本実施例では、HF 系エッチング液を用いて、ウェットエッチングにより除去した。次いで、新たにレジストからなるマスク 328 を形成して、上記のドーピング処理よりも高い加速電圧でドーピング処理を行う。本実施例では、ドーズ量を $3.0 \times 10^{15} \text{ ions/cm}^2$ とし、加速電圧を 65 keV の条件下で、導電層 326 を不純物元素に対するマスクとして用いる。上記のドーピング処理を行った結果、不純物領域 (N-領域、LDD 領域) 329 には $1 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ の濃度範囲で不純物元素が付与され、不純物領域 (N+領域) 330 には $1 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ の濃度範囲で N 型を付与する不純物元素を添加された。また、チャネル形成領域 331 が形成される。

【0138】

次いで、レジストからなるマスク 328 を除去した後、新たにレジストからなるマスク 332 を形成した (図 11 (D))。その後、ドーピング処理を行って、P チャネル型 TFT の活性層となる半導体層に、前記第 1 の導電型とは逆の導電型を付与する不純物元素が添加された不純物領域を形成する。本処理では、導電層 327 を不純物元素に対するマスクとして用いて、P 型を付与する不純物元素を添加し、自己整合的に不純物領域 (P+領域) 333、不純物領域 (P-領域) 334 及びチャネル形成領域 335 を形成した。本実施例では、ジボラン (B_2H_6) を用いたイオンドープ法で、ドーズ量を $1 \times 10^{16} \text{ ions/cm}^2$ 、加速電圧を 80 keV の条件下で、P 型を付与する不純物元素の濃度が $1 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ となるようにドーピング処理を行った。なおドーピング処理を行う条件等は上記記載に限定されず、2 回以上の複数回のドーピング処理で形成しても良い。

【0139】

次に、レジストからなるマスク 332 を除去し、導電層 326、327 をマスクとして、第 1 導電膜 318 を異方性エッチングして、導電層 336、337 を形成した (図 11 (E))。以上の工程により、結晶質半導体を含む N チャネル型トランジスタ (p-SiTFT) 338 及び P チャネル型トランジスタ (p-SiTFT) 339、並びに非晶質半導体を含むトランジスタ (a-SiTFT) 340 を同一基板上に形成することができた。

【0140】

続いて、絶縁膜 341 を形成する。この絶縁膜 341 には、プラズマ CVD 法またはスパッタ法を用い、厚さを 100 ~ 200 nm として珪素を含む絶縁膜を用いて、単層又は積層構造として形成する。本実施例では、プラズマ CVD 法により膜厚 100 nm の酸化窒化珪

素膜を形成した。

【0141】

次いで加熱処理(熱処理)を行って、半導体層の結晶性の回復、又は半導体層に添加された不純物元素の活性化を行ってもよい。この加熱処理は、非晶質半導体が熱結晶化されないように、加熱源の走査を行うことで、選択的な加熱処理が可能なレーザアニール法やRTA法を用いることが好適である。

【0142】

次いで、絶縁膜341上に、絶縁膜348を形成する。絶縁膜348としては、CVD法によって形成された酸化珪素膜や、SOG法によって塗布された酸化珪素膜、ポリイミド、ポリアミド、BCB、アクリル等の有機絶縁膜、又はアクリル膜と酸化窒化珪素膜の積層膜を用いる。本実施例では、膜厚1.6 μ mのアクリル膜を形成した。絶縁膜348は、基板上200に形成されたTFITによる凹凸を緩和し、平坦化する意味合いが強いので、平坦性に優れた膜が好ましい。

【0143】

次に、絶縁膜317、341及び348をエッチングして、導電層315、不純物領域330、333に達するコンタクトホールを形成した。続いて、公知の導電性を有する材料を用いて、各不純物領域と電氣的に接続する導電膜を単層又は積層形成した後、パターン加工を行って、配線342~346を形成した。続いて、配線342~346を被覆するように絶縁膜349を形成した。

【0144】

CPUなどに代表される機能回路を用途としたトランジスタは、LDD構造又はGOLD構造が好適であり、高速化のためにトランジスタの微細化を図ることが好ましい。本実施例により完成されるN型トランジスタ338、P型トランジスタ339は、LDD構造を有するため、表示素子の制御だけでなく、機能回路に用いてもよい。また、微細化に伴うゲート絶縁膜317の薄膜化が欠かせないが、本実施例の工程では、ゲート絶縁膜317が第1導電膜318に被覆された状態でドーピング工程が行われ、ゲート絶縁膜317が保護されており、微細化にも有効である。また、連続発振のレーザを用いると、結晶欠陥が少なく、大粒径の多結晶半導体を用いて、トランジスタを作成することができるため、移動度や応答速度が良好であり、このような観点からも機能回路に用いることが好適である。

【0145】

本実施例は上記実施の形態1乃至4のいずれか一と自由に組み合わせて実施することが可能である。

【実施例2】

【0146】

本発明を適用して作製される電子機器の一例として、ビデオカメラ、デジタルカメラ、ゴーグル型ディスプレイ(ヘッドマウントディスプレイ)、ナビゲーションシステム、音響再生装置(カーオーディオ、オーディオコンポ等)、ノート型パーソナルコンピュータ、ゲーム機器、携帯情報端末(モバイルコンピュータ、携帯電話、携帯型ゲーム機又は電子書籍等)、記録媒体を備えた画像再生装置(具体的にはDigital Versatile Disc(DVD)等の記録媒体を再生し、その画像を表示しうるディスプレイを備えた装置)などが挙げられる。それら電子機器の具体例を図12に示す。

【0147】

図12(A)は表示装置であり、筐体3001、支持台3002、表示部3003、スピーカー部3004、ビデオ入力端子3005等を含む。本発明は表示部3003の作製に用いることができる。発光装置は自発光型であるためバックライトが必要なく、液晶ディスプレイよりも薄い表示部とすることができる。なお、表示装置は、パソコン用、TV放送受信用、広告表示用などの全ての情報表示用表示装置が含まれる。

【0148】

図12(B)はデジタルスチルカメラであり、本体3101、表示部3102、受像部31

03、操作キー3104、外部接続ポート3105、シャッター3106等を含む。本発明は表示部3102の作製に用いることができる。図12(C)はノート型パーソナルコンピュータであり、本体3201、筐体3202、表示部3203、キーボード3204、外部接続ポート3205、ポインティングマウス3206等を含む。本発明は表示部3203の作製に用いることができる。

【0149】

図12(D)はモバイルコンピュータであり、本体3301、表示部3302、スイッチ3303、操作キー3304、赤外線ポート3305等を含む。本発明は表示部3302の作製に用いることができる。図12(E)は記録媒体を備えた携帯型の画像再生装置(具体的にはDVD再生装置)であり、本体3401、筐体3402、表示部A3403、表示部B3404、記録媒体(DVD等)読込部3405、操作キー3406、スピーカー部3407等を含む。表示部A3403は主として画像情報を表示し、表示部B3404は主として文字情報を表示するが、本発明はこれら表示部A、B3403、3404の作製に用いることができる。なお、記録媒体を備えた画像再生装置には家庭用ゲーム機器なども含まれる。

10

【0150】

図12(F)はゴーグル型ディスプレイ(ヘッドマウントディスプレイ)であり、本体3501、表示部3502、アーム部3503を含む。本発明は表示部3502の作製に用いることができる。図12(G)はビデオカメラであり、本体3601、表示部3602、筐体3603、外部接続ポート3604、リモコン受信部3605、受像部3606、バッテリー3607、音声入力部3608、操作キー3609、接眼部3610等を含む。本発明は表示部3602の作製に用いることができる。

20

【0151】

図12(H)は携帯電話であり、本体3701、筐体3702、表示部3703、音声入力部3704、音声出力部3705、操作キー3706、外部接続ポート3707、アンテナ3708等を含む。本発明は表示部3703の作製に用いることができる。なお、表示部3703は黒色の背景に白色の文字を表示することで携帯電話の消費電流を抑えることができる。

【0152】

本実施例は上記実施の形態1乃至4、実施例1のいずれかーと自由に組み合わせて実施することが可能である。

30

【図面の簡単な説明】

【0153】

【図1】ビームスポットの照射跡の様子を示す図。

【図2】本発明における基本波のビームスポット形状の一例を示す図。

【図3】本発明における基本波のビームスポットのエネルギー密度の一例を示す図。

【図4】本実施の形態1を説明する図。

【図5】半導体膜のレーザアニールの様子を示す図。

【図6】本実施の形態2を説明する図。

【図7】本実施の形態3を説明する図。

40

【図8】レーザアニールの様子を示す図。

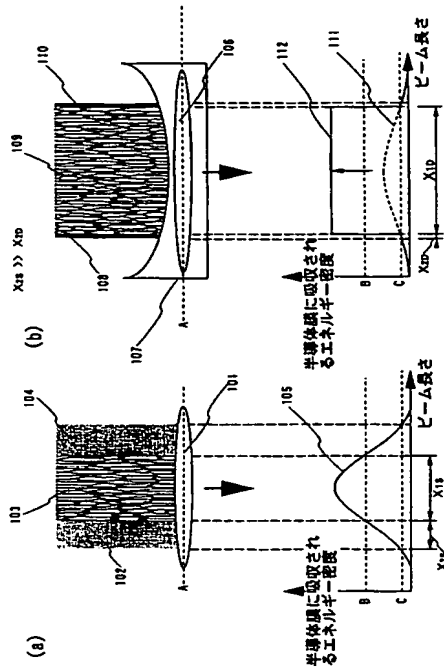
【図9】本実施の形態4を説明する図。

【図10】本発明の半導体装置の作製工程を説明する図。

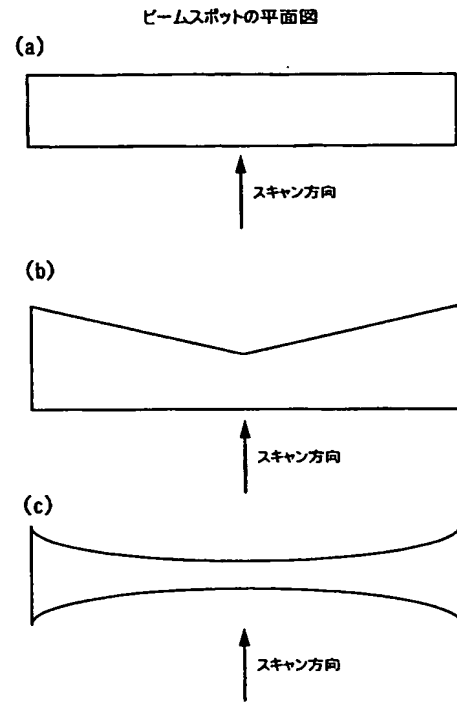
【図11】本発明の半導体装置の作製工程を説明する図。

【図12】本発明を用いた電子機器を示す図。

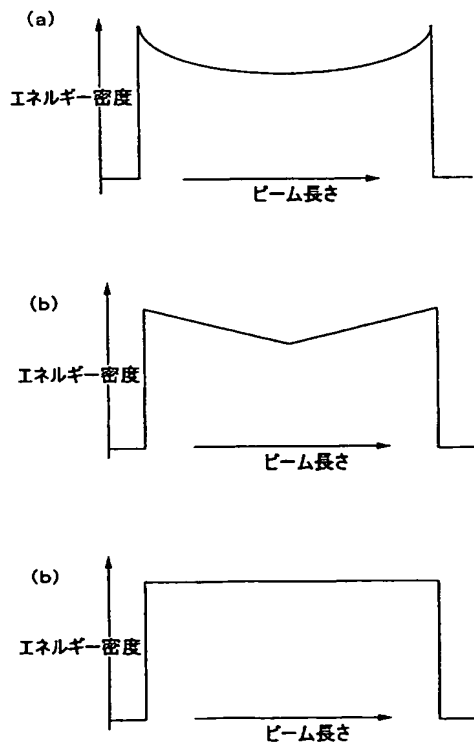
【図 1】



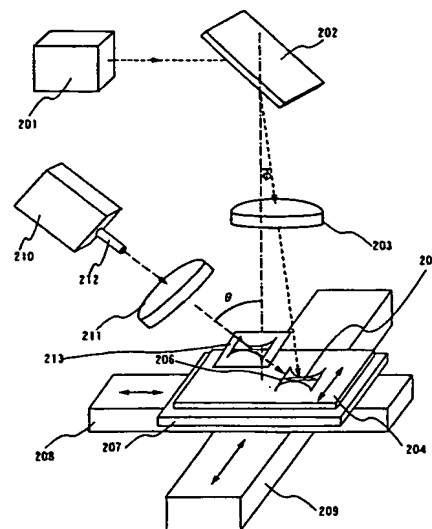
【図 2】



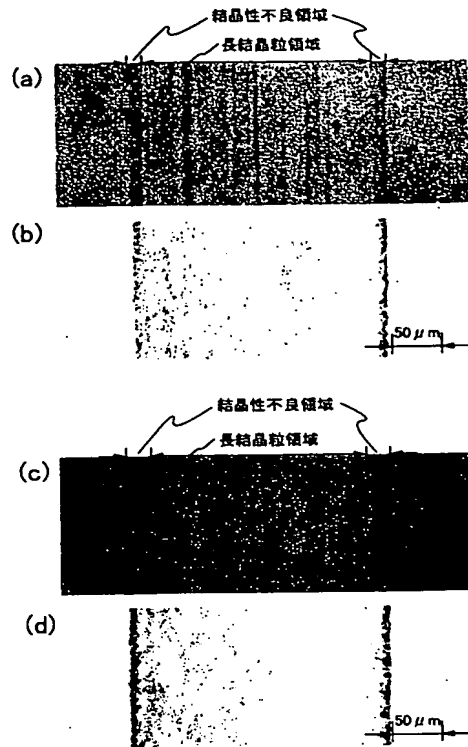
【図 3】



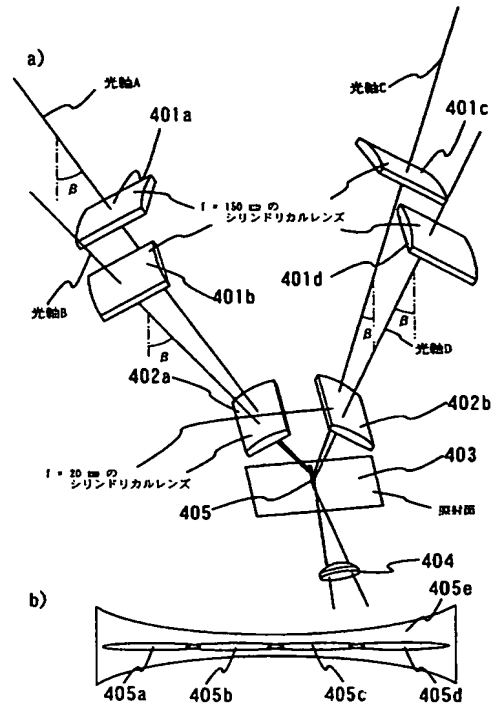
【図 4】



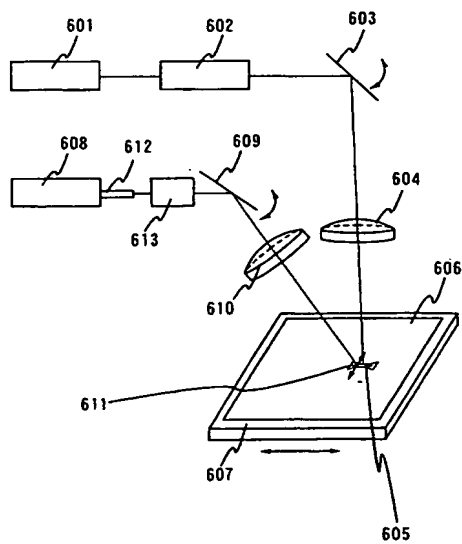
【図 5】



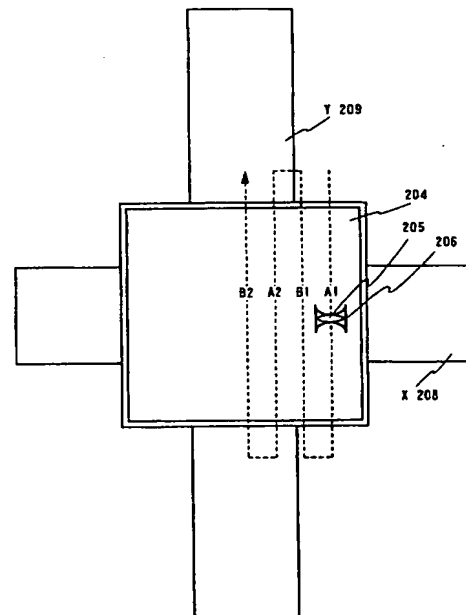
【図 6】



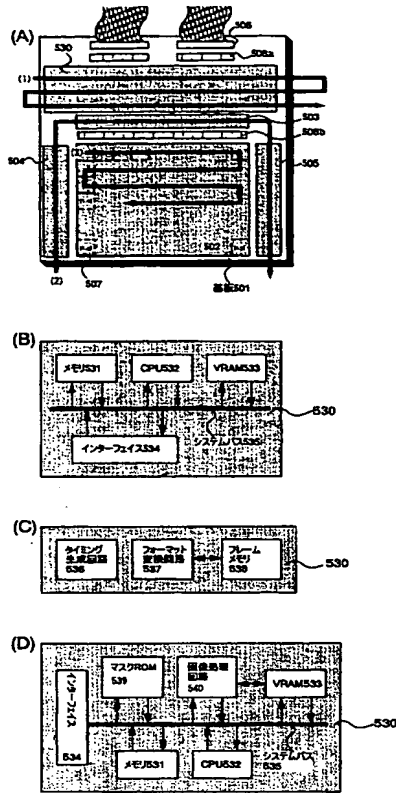
【図 7】



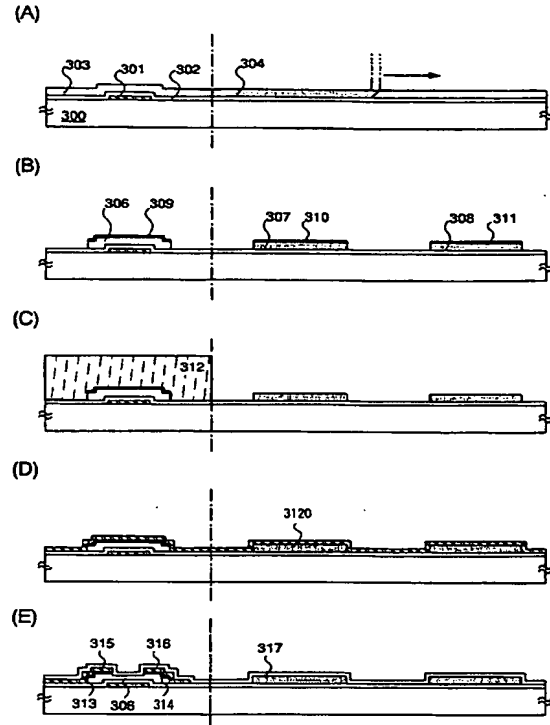
【図 8】



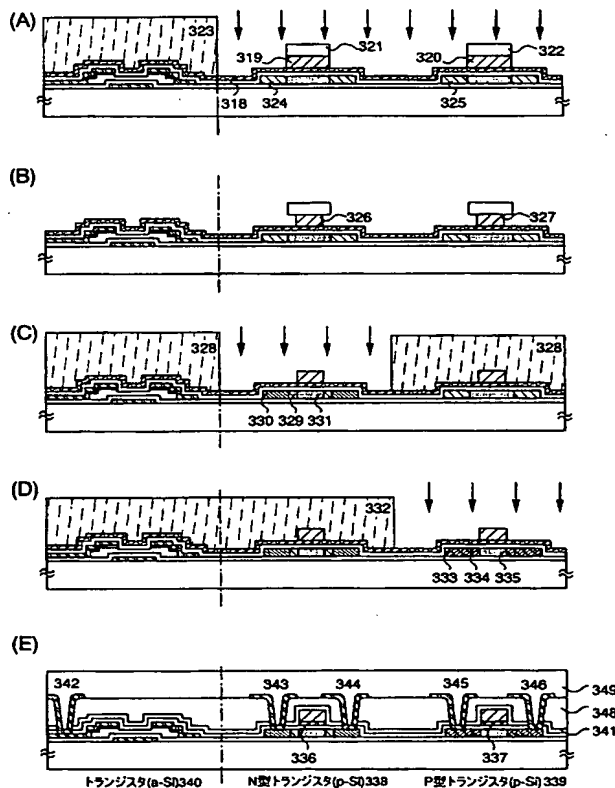
【図 9】



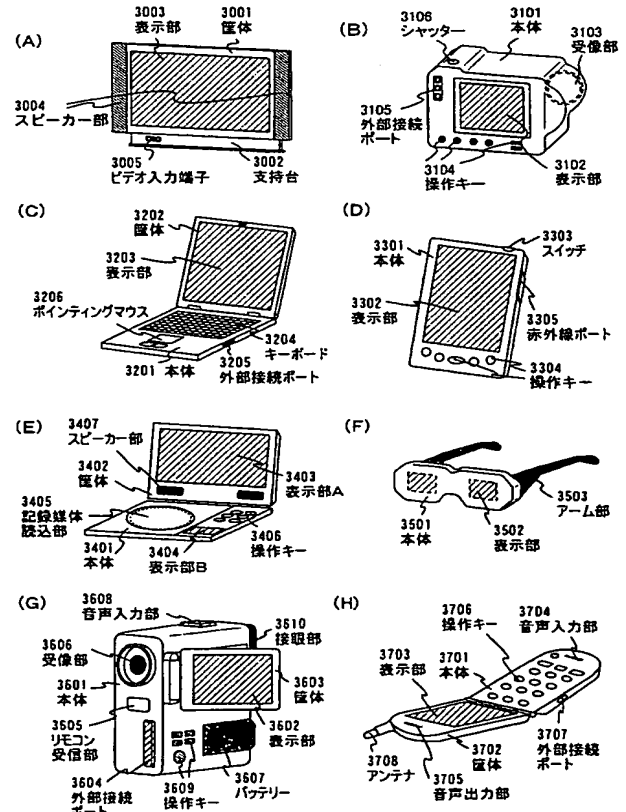
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F052 AA02 BA04 BA07 BA11 BA12 BA15 BB01 BB02 BB05 BB06
CA04 DA02 DB02 DB03 DB07 EA15 FA06 JA02 JA04
5F110 AA17 AA30 BB02 BB04 CC02 CC07 DD01 DD02 DD03 DD05
EE02 EE03 EE04 EE06 EE09 EE14 FF04 FF09 FF30 GG13
GG15 GG25 GG43 GG45 GG47 HJ01 HJ04 HJ12 HJ23 HK09
HK34 HM15 NN02 NN03 NN04 NN22 NN23 NN27 NN35 NN36
NN71 NN78 PP01 PP03 PP04 PP05 PP06 PP07 PP29 PP34
QQ19

【要約の続き】